

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE C.C. QUÍMICAS

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica



**ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO
DE PIEZAS DE ÉPOCA ROMANA
PROCEDENTES DE LA PROVINCIA DE PALENCIA**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
POR Alicia Soria Muñoz**

Bajo la dirección de los Doctores:
José M^a Gómez de Salazar y Caso de los Cobos
María Isabel Barrena Pérez

Madrid, 2003

ISBN: 84-669-1847-7

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica



TESIS DOCTORAL

**ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO
DE PIEZAS DE ÉPOCA ROMANA
PROCEDENTES DE LA PROVINCIA DE PALENCIA.**

ALICIA SORIA MUÑOZ.

MADRID 2003

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica**

ALICIA SORIA MUÑOZ

**ESTUDIO ARQUEOMETALÚRGICO
DE PIEZAS DE ÉPOCA ROMANA
PROCEDENTES DE LA PROVINCIA DE PALENCIA.**

**Memoria que para optar al grado de
Doctor en Ciencias Químicas presenta
ALICIA SORIA MUÑOZ**

DIRECTORES: JOSÉ Mº GÓMEZ DE SALAZAR Y CASO DE LOS COBOS

MARÍA ISABEL BARRENA PÉREZ

MADRID, 2003

INDICE

1. Objetivos.....	1
2. Introducción Teórica.....	5
2.1. Historia de la Provincia de Palencia.....	7
2.1.1. Paleolítico.....	7
2.1.2. Neolítico, Eneolítico y Calcolítico.....	7
2.1.3. Edad de Bronce.....	8
2.1.4. Primera Edad del Hierro.....	10
2.1.5. Segunda Edad del Hierro.....	12
2.1.6. Época Prerromana.....	12
2.1.7. Época Romana.....	14
2.1.7.1. Evolución Histórica.....	14
2.1.7.2. Vías Romanas.....	17
2.1.7.3. Economía.....	17
2.2. Metalurgia.....	20
2.2.1. Evolución Tecnológica.....	20
2.2.2. Metales y Aleaciones.....	30
2.2.2.1. Hierro y Acero.	30
2.2.2.2. Cobre y Bronce.	33
2.2.3. Forja.....	35
2.2.3.1. Generalidades.	35
2.2.3.2. Propiedades Mecánicas.	35
2.2.3.3. Metales Y Aleaciones Forjables.....	37
2.2.3.4. Ciclo Térmico.....	37
2.2.3.5. Herramientas y/o Utillaje del proceso.....	39
2.2.3.6. Procedimientos Técnicos.....	43
2.3. Yacimientos.....	50
2.3.1. La Olmeda (Pedrosa de la Vega)	50
2.3.2. La Tejada (Quintanilla de la Cueva)	56
2.4. Corrosión de Materiales Metálicos Enterrados.....	62
2.4.1. Efecto del medio de enterramiento.....	62
2.4.2. Efecto de la naturaleza del material metálico enterrado.....	65
2.4.2.1. Hierro.....	65
2.4.2.2. Cobre.	69
3. Procedimiento Experimental.....	73
3.1. Caracterización Geológica.....	75
3.2. Catalogación.....	78
3.3. Consolidación.....	78
3.4. Técnica Caracterización Química. Difracción Rayos X.....	78
3.5. Técnicas Caracterización Microestructural.....	79
3.5.1. Examen Radiológico.....	79
3.5.2. Microscopia Óptica.....	80
3.5.3. Microscopia Electrónica De Barrido.....	82
3.5.4. Espectrometría Dispersión Rayos X.....	82
3.6. Técnica De Caracterización Mecánica. Dureza Vickers.....	82
4. Resultados Y Discusión.....	85
4.1. Piezas De La Villa De La Olmeda.....	87
4.1.1. Cencerro.....	88
4.1.1.1. Catalogación.....	88
4.1.1.2. Caracterización Química.....	88
4.1.1.3. Caracterización Microestructural.....	91
4.1.1.4. Caracterización Mecánica.....	98
4.1.1.5. Simulación Tecnológica.....	98

4.1.2. Aguja Saquera.....	99
4.1.2.1. Catalogación.....	99
4.1.2.2. Caracterización Microestructural.....	100
4.1.2.3. Caracterización Mecánica.....	103
4.1.2.4. Simulación Tecnológica.....	103
4.1.3. Badajo.....	105
4.1.3.1. Catalogación.....	105
4.1.3.2. Caracterización Química.....	105
4.1.3.3. Caracterización Microestructural.....	106
4.1.3.4. Caracterización Mecánica.....	109
4.1.3.5. Simulación Tecnológica.....	109
4.1.4. Cardador.....	111
4.1.4.1. Catalogación.....	111
4.1.4.2. Caracterización Química.....	111
4.1.4.3. Caracterización Microestructural.....	113
4.1.4.4. Caracterización Mecánica.....	116
4.1.4.5. Simulación Tecnológica.....	117
4.1.5. Hacha nº 7.....	118
4.1.5.1. Catalogación.....	118
4.1.5.2. Caracterización Química.....	120
4.1.5.3. Caracterización Microestructural.....	122
4.1.5.4. Caracterización Mecánica.....	126
4.1.5.5. Simulación Tecnológica.....	128
4.1.6. Cadena.....	128
4.1.6.1. Catalogación.....	128
4.1.6.2. Caracterización Microestructural.....	129
4.1.6.3. Caracterización Mecánica.....	133
4.1.6.4. Simulación Tecnológica.....	133
4.1.7. Mango de Sítula.....	134
4.1.7.1. Catalogación.....	134
4.1.7.2. Caracterización Química.....	135
4.1.7.3. Caracterización Microestructural.....	136
4.1.7.4. Caracterización Mecánica.....	140
4.1.7.5. Simulación Tecnológica.....	142
4.1.8. Cuchillo Afalcatado.....	142
4.1.8.1. Catalogación.....	142
4.1.8.2. Caracterización Química.....	144
4.1.8.3. Caracterización Microestructural.....	146
4.1.8.4. Caracterización Mecánica.....	148
4.1.8.5. Simulación Tecnológica.....	148
4.1.9. Hacha nº 14.....	150
4.1.9.1. Catalogación.....	150
4.1.9.2. Caracterización Microestructural.....	151
4.1.9.3. Caracterización Mecánica.....	155
4.1.9.4. Simulación Tecnológica.....	155
4.1.10. Escarpelo.....	157
4.1.10.1. Catalogación.....	157
4.1.10.2. Caracterización Química.....	157
4.1.10.3. Caracterización Microestructural.....	158
4.1.10.4. Caracterización Mecánica.....	162
4.1.10.5. Simulación Tecnológica.....	163
4.1.11. Cíncel.....	163
4.1.11.1. Catalogación.....	163
4.1.11.2. Caracterización Química.....	164

4.1.11.3.	Caracterización Microestructural.....	166
4.1.11.4.	Caracterización Mecánica.....	169
4.1.11.5.	Simulación Tecnológica.....	169
4.1.12.	Aro.....	171
4.1.12.1.	Catalogación.....	171
4.1.12.2.	Caracterización Química.....	172
4.1.12.3.	Caracterización Microestructural.....	173
4.1.12.4.	Caracterización Mecánica.....	176
4.1.12.5.	Simulación Tecnológica.....	177
4.1.13.	Punta de lanza.....	178
4.1.13.1.	Catalogación.....	178
4.1.13.2.	Caracterización Microestructural.....	180
4.1.13.3.	Caracterización Mecánica.....	185
4.1.13.4.	Simulación Tecnológica.....	185
4.1.14.	Cruceta.....	187
4.1.14.1.	Catalogación.....	187
4.1.14.2.	Caracterización Microestructural.....	188
4.1.14.3.	Caracterización Mecánica.....	194
4.1.14.4.	Simulación Tecnológica.....	194
4.1.15.	Alcayata.....	196
4.1.15.1.	Catalogación.....	196
4.1.15.2.	Caracterización Microestructural.....	196
4.1.15.3.	Caracterización Mecánica.....	199
4.1.15.4.	Simulación Tecnológica.....	200
4.1.16.	Martillo de Platero.....	201
4.1.16.1.	Catalogación.....	201
4.1.16.2.	Caracterización Microestructural.....	202
4.1.16.3.	Caracterización Mecánica.....	205
4.1.16.4.	Simulación Tecnológica.....	206
4.1.17.	Llave.....	207
4.1.17.1.	Catalogación.....	207
4.1.17.2.	Caracterización Microestructural.....	207
4.1.17.3.	Caracterización Mecánica.....	209
4.1.17.4.	Simulación Tecnológica.....	209
4.1.18.	Gancho.....	211
4.1.18.1.	Catalogación.....	211
4.1.18.2.	Caracterización Microestructural.....	212
4.1.18.3.	Caracterización Mecánica.....	214
4.1.18.4.	Simulación Tecnológica.....	214
4.1.19.	Cáncamo.....	215
4.1.19.1.	Catalogación.....	215
4.1.19.2.	Caracterización Microestructural.....	215
4.1.19.3.	Caracterización Mecánica.....	220
4.1.19.4.	Simulación Tecnológica.....	222
4.1.20.	Buril.....	222
4.1.20.1.	Catalogación.....	222
4.1.20.2.	Caracterización Microestructural.....	223
4.1.20.3.	Caracterización Mecánica.....	227
4.1.20.4.	Simulación Tecnológica.....	227
4.1.21.	Hoja de Sierra.....	228
4.1.21.1.	Catalogación.....	228
4.1.21.2.	Caracterización Química.....	228
4.1.21.3.	Caracterización Microestructural.....	230
4.1.21.4.	Caracterización Mecánica.....	232

4.1.21.5. Simulación Tecnológica.....	233
4.2. Piezas De La Villa De La Tejada.....	234
4.2.1. Clavo nº 1.....	235
4.2.1.1. Catalogación.....	235
4.2.1.2. Caracterización Microestructural.....	235
4.2.1.3. Caracterización Mecánica.....	237
4.2.2. Clavo nº 2.....	239
4.2.2.1. Catalogación.....	239
4.2.2.2. Caracterización Microestructural.....	239
4.2.2.3. Caracterización Mecánica.....	241
4.2.3. Clavo nº 3.....	243
4.2.3.1. Catalogación.....	243
4.2.3.2. Caracterización Microestructural.....	243
4.2.3.3. Caracterización Mecánica.....	245
4.2.4. Clavo nº 4.....	247
4.2.4.1. Catalogación.....	247
4.2.4.2. Caracterización Microestructural.....	247
4.2.4.3. Caracterización Mecánica.....	249
4.2.5. Clavo nº 5.....	250
4.2.5.1. Catalogación.....	250
4.2.5.2. Caracterización Microestructural.....	250
4.2.5.3. Caracterización Mecánica.....	253
4.2.6. Clavo nº 6.....	254
4.2.6.1. Catalogación.....	254
4.2.6.2. Caracterización Microestructural.....	254
4.2.6.3. Caracterización Mecánica.....	256
4.2.7. Clavo nº 7.....	257
4.2.7.1. Catalogación.....	257
4.2.7.2. Caracterización Microestructural.....	257
4.2.7.3. Caracterización Mecánica.....	259
4.2.8. Buril.....	260
4.2.8.1. Catalogación.....	260
4.2.8.2. Caracterización Microestructural.....	260
4.2.8.3. Caracterización Mecánica.....	263
4.2.9. Varilla nº 1.....	264
4.2.9.1. Catalogación.....	264
4.2.9.2. Caracterización Química.....	264
4.2.9.3. Caracterización Microestructural.....	265
4.2.9.4. Caracterización Mecánica.....	267
4.2.10. Varilla nº 2.....	269
4.2.10.1. Catalogación.....	269
4.2.10.2. Caracterización Microestructural.....	269
4.2.10.3. Caracterización Mecánica.....	270
4.2.11. Varilla nº 3.....	271
4.2.11.1. Catalogación.....	271
4.2.11.2. Caracterización Microestructural.....	272
4.2.11.3. Caracterización Mecánica.....	273
4.2.12. Varilla nº 4.....	274
4.2.12.1. Catalogación.....	274
4.2.12.2. Caracterización Microestructural.....	274
4.2.12.3. Caracterización Mecánica.....	276
4.2.13. Varilla nº 5.....	277
4.2.13.1. Catalogación.....	277
4.2.13.2. Caracterización Microestructural.....	277

4.2.13.3.	Caracterización Mecánica.....	279
4.2.14.	Varilla nº 6.....	280
4.2.14.1.	Catalogación.....	280
4.2.14.2.	Caracterización Microestructural.....	281
4.2.14.3.	Caracterización Mecánica.....	282
4.2.15.	Varilla nº 7.....	283
4.2.15.1.	Catalogación.....	283
4.2.15.2.	Caracterización Química.....	283
4.2.15.3.	Caracterización Microestructural.....	284
4.2.15.4.	Caracterización Mecánica.....	286
4.2.16.	Varilla nº 8.....	287
4.2.16.1.	Catalogación.....	287
4.2.16.2.	Caracterización Microestructural.....	287
4.2.16.3.	Caracterización Mecánica.....	289
4.2.17.	Varilla nº 9.....	290
4.2.17.1.	Catalogación.....	290
4.2.17.2.	Caracterización Microestructural.....	290
4.2.17.3.	Caracterización Mecánica.....	293
4.2.18.	Varilla nº 10.....	294
4.2.18.1.	Catalogación.....	294
4.2.18.2.	Caracterización Microestructural.....	294
4.2.18.3.	Caracterización Mecánica.....	296
4.2.19.	Varilla nº 11.....	297
4.2.19.1.	Catalogación.....	297
4.2.19.2.	Caracterización Microestructural.....	297
4.2.19.3.	Caracterización Mecánica.....	299
4.2.20.	Varilla nº 12.....	300
4.2.20.1.	Catalogación.....	300
4.2.20.2.	Caracterización Microestructural.....	301
4.2.20.3.	Caracterización Mecánica.....	304
4.2.21.	Varilla nº 13.....	305
4.2.21.1.	Catalogación.....	305
4.2.21.2.	Caracterización Química.....	305
4.2.21.3.	Caracterización Microestructural.....	306
4.2.21.4.	Caracterización Mecánica.....	308
4.2.22.	Tecnología de La Tejada.....	309
4.2.22.1.	Clavos.....	309
4.2.22.2.	Varillas.....	309
5.	Conclusiones.....	311
6.	Bibliografía.....	319

1. OBJETIVOS

1. OBJETIVOS

En el campo de la arqueología es difícil encontrar piezas en un buen estado de conservación, y las que se encuentran suelen tener un gran valor museístico. Por este motivo, no suele ser frecuente la donación de parte de estos tesoros para su investigación química – metalúrgica siendo, más frecuente, su almacenaje en los fondos de los museos y sus exposiciones ocasionales, o permanentes, después de procesos de restauración.

Entendemos que estas piezas arqueológicas son únicas y que ofrecen por sí mismas información importante en el campo histórico, pero también consideramos que estos objetos pueden aportar resultados interesantes en campos científicos – tecnológicos, y por tanto acercar disciplinas tales como la arqueología y la metalurgia.

Así, se ha realizado un estudio arqueometalúrgico de piezas procedentes de la provincia de Palencia datadas en época romana, con el objeto de conocer su proceso de fabricación.

Estas piezas fueron cedidas en depósito por parte de la Excelentísima Diputación de Palencia (D. Javier Cortes), al Prof. Dr. D. José María Gómez de Salazar y Caso de los Cobos, con el fin de realizar un estudio completo de las mismas.

El conocimiento de los procesos de fabricación de estos objetos, ayudarán a conocer las materias primas empleadas en el proceso de fabricación, así como su proceso de transformación y las técnicas de taller utilizadas. Además, proporcionarán información relevante relacionada con el desarrollo de la metalurgia en la zona de Palencia, su relación con la Península Ibérica, y en general con el mundo romano.

En este trabajo de investigación han sido estudiadas 42 piezas procedentes de dos villas de época romana, situadas ambas en la provincia de Palencia y conocidas como La Tejada y La Olmeda. Para ello, fue necesaria una consolidación y catalogación de cada una de ellas, su caracterización desde el punto de vista químico, microestructural y mecánico, y finalmente se concluyó con una simulación del proceso de fabricación de estos útiles, que fue el objetivo final de este trabajo de investigación.

La justificación del presente trabajo queda patente, si se piensa en la utilidad de sus resultados en el campo de la restauración y conservación de bienes culturales, en la búsqueda de análogos arqueológicos para repositorios nucleares, o tan sólo en el conocimiento de nuestra propia historia y evolución.

2. *INTRODUCCIÓN TEÓRICA*

2.1. HISTORIA DE LA PROVINCIA DE PALENCIA

Una aproximación histórica de la provincia de Palencia ayudará a entender de forma cronológica, su nivel de culturización y su evolución histórica desde la prehistoria hasta la época de pervivencia y posterior decadencia de las villas objeto de estudio.

2.1.1. Paleolítico.

Se tiene un desconocimiento parcial de las culturas paleolíticas asentadas en suelo palentino (¿? – 8000 a. C.) [1]. Sin embargo, el marco geográfico en el que debieron desarrollarse, respondería a las dos zonas que aún hoy en día configuran la provincia de Palencia [2]: por una parte la zona septentrional, prácticamente en su totalidad montañosa, donde abundan las cuevas que posibilitan su ocupación durante el Paleolítico Superior, y por otra las zonas llanas, sobre todo al sur, donde las terrazas de los ríos debieron ser lugares idóneos para asentamientos inferopaleolíticos.

Hay que tener en cuenta que las gravas de las terrazas de los ríos palentinos son de pequeño tamaño, lo que no facilita precisamente su utilización como materia prima para fabricar instrumentos de gran tamaño, como son los usados en el Paleolítico Inferior. Además, si se añade la rareza del sílex, se comprenden las dificultades que debió tener el hombre paleolítico para obtener sus utensilios y, en consecuencia, la poca atracción que debió ejercer sobre él esta tierra. Con todo esto no se conoce la existencia de algún yacimiento [3], ni de los denominados como inéditos (Fig. 1) (yacimientos de los cuales se conoce su existencia pero no están explorados) (Tabla I), correspondiente al Paleolítico Inferior y Medio.

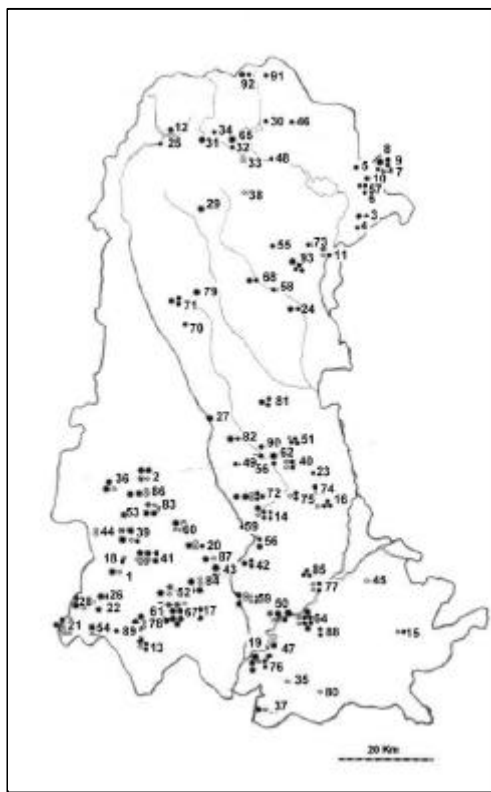


Fig. 1: Yacimientos Palentinos Inéditos.

2.1.2. Neolítico, Eneolítico y Calcolítico.

El Neolítico, Eneolítico y Calcolítico conforman un período que abarca desde el año 8000 al 4000 a. C [1].

La neolización de la Meseta norte, es decir, la incorporación de las provincias castellano – leonesas a formas de vida basadas en una rudimentaria economía de producción, sigue siendo aún en nuestros días un proceso desconocido [2].



Fig. 2: Yacimientos Palentinos del Calcolítico.

No ocurre lo mismo con la etapa siguiente, el Eneolítico – Calcolítico, que se caracteriza por la interrupción del llamado fenómeno megalítico y supone para Palencia su ocupación sistemática por grupos de pastores. En líneas generales, esta etapa se definiría por la utilización esporádica del cobre, y del hierro [4], por el hábitat en cueva o al aire libre y, sobre todo, por un nuevo ritual funerario, la inhumación colectiva, bien llevada a cabo en grandes panteones de piedra, los dólmenes, bien en túmulos sin estructura megalítica o en cueva.

Se conoce la existencia de 11 yacimientos de la época Calcolítica (Fig. 2 y Tabla II) en la provincia de Palencia [3].

2.1.3. Edad de Bronce.

La Edad de Bronce comprende el período que abarca desde el año 4000 al 1000 a. C. [5]. Aunque la etapa precedente, Período Calcolítico, se caracterizaba por la utilización del cobre, en la provincia de Palencia no está plenamente comprobado que sea así. Por ello y teniendo en cuenta que la fecha que se maneja habitualmente para el inicio de la metalurgia del cobre en la Península Ibérica es hacia el 2500 a. C., se considera a las gentes de la cultura del vaso campaniforme (2500 a.C. – 1700 a. C.) como los introductores de la metalurgia en el sector o, en cualquier caso, los que la consolidan definitivamente [2].

En el área de Cervera de Pisuerga existe uno de los pocos filones cupríferos importantes de la Meseta, en el que curiosamente también entra en su composición el hierro y el plomo en cantidades apreciables, por lo que no es aventurado afirmar que los objetos metálicos de horizonte campaniforme, documentados en la provincia de Palencia, sean de fabricación local.

*Tabla I: Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos inéditos de varias épocas:
C.- Calcolítico. B.- Bronce. H.- Hierro. R.- Romano. M.- Medieval.*

	LOCALIDAD	ÉPOCA		LOCALIDAD	ÉPOCA		LOCALIDAD	ÉPOCA
1	Abarca	B,R	32	Ventanilla	M	63	Lastrilla	M
2	Abastas	C,B,R	33	Ruesga	R	64	Reinoso De Cerrato	B,H,R,M
3	Gama	H,M	34	Santibáñez De Resoba	M	65	Resoba	B
4	Villacibio	M	35	Cevico De La Torre	R	66	Revenga De Campos	R,M
5	Nestar	M	36	Cisneros	B,H,R	67	Revilla De Campos	C,B,R
6	Porquera De Los Infantes	M	37	Cubillas De Cerrato	H,R	68	Revilla De Collazos	H,M
7	Navas De Sobrenombre	M	38	Colmenares De Ojeda	R	69	Ribas De Campos	M
8	Canduela	M	39	Frechilla	C,B,R,M	70	Renedo Del Monte	M
9	Villanueva De Henares	B,M	40	Fromista	R,M	71	Villasur	H,M
10	Menaza	M	41	Fuentes De Nava	B,H,R	72	Amayuelas De Abajo	B,H,R,M
11	Nogales	B,R,M	42	Fuentes De Valdepero	H,M	73	Santibáñez De Ecla	M
12	Alba De Los Cardaños	H	43	Grijota	B,M	74	Santoyo	H,R
13	Ampudia	B,R,M	44	Guaza De Campos	R	75	Tamara	R,M
14	Amusco	B,R,M	45	Herrera De Valdecañas	R	76	Tariego De Cerrato	B,H,R,M
15	Antigüedad	R,M	46	Herreruela De Castillería	M	77	Torquemada	R,M
16	Astudillo	R,M	47	Notoria De Cerrato	H	78	Torremormojon	B,H,R
17	Autilla Del Pino	B,H	48	Liguerzana	M	79	Valderrabano	B
18	Autillo De Campos	B,R,M	49	Lomas	M	80	Vertavillo	R
19	Baños Del Cerrato	M	50	Magaz De Pisuerga	C,B,H,R,M	81	Villaherreros	H,M
20	Becerril De Campos	B,R,M	51	Marcilla De Campos	R,M	82	Villalcazar De Sirga	B,M
21	Belmonte De Campos	B,R	52	Mazariegos	C,B,R	83	Villalumbroso	C,B,R
22	Boada De Campos	H,R	53	Mazuercos De Valdeginate	B	84	Villamartin De Campos	B,R
23	Boadilla Del Camino	M	54	Meneses De Campos	B,R	85	Villamediana	M
24	Calahorra De Boedo	H,M	55	Micieces De Ojeda	M	86	Villatoquite	B,H,R
25	Camporredondo De Alba	M	56	Monzón De Campos	H,M	87	Villaumbrales	H,R
26	Capillas	B	57	Cabria	M	88	Villaviudas	M
27	Carrion De Los Condes	H	58	Olea De Boedo	M	89	Villerías	M
28	Castil De Vela	B,H,R	59	Palencia	H,R,M	90	Villovieco	M
29	Roscales De La Peña	B	60	Paredes De Nava	B,H,R	91	Camasobres	M
30	Estalaya	M	61	Pedraza De Campos	B,H,R	92	Casavegas	H,M
31	Rebanal De Las Llantas	H	62	Población De Campos	B,M	93	La Vid De Ojeda	B,M

Tabla II: Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos Calcolíticos.

	LOCALIDAD	YACIMIENTO
1	Abastas	Quintanilla
2	Aguilar de Campo	Pantano de Aguilar
3	Amusco	Baldian
4	Frechilla	Quintanas
5	Herrera de Pisuerga	La Chorquilla
6	Magaz de Pisuerga	Magaz
7	Mazariegos	Cuesta de Padilla
8	Palenzuela	Palenzuela
9	Paredes de Nava	La Ciudad
10	Revilla de Campos	La Serna, La Cotorra. La Loma, La Cera
11	Villalumbroso	La Cruz

El Bronce Medio (1500 – 1200 a. C.) se caracteriza por la existencia de culturas

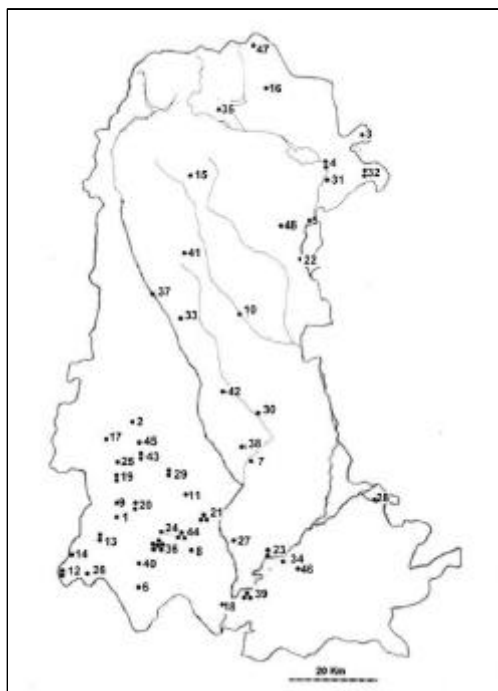


Fig. 3: Yacimientos Palentinos de la Edad del Bronce.

paralelas [6,7]; Pre-Cogota y Argar con predominio de formas cerámicas lisas que acompañan a objetos de metal (bronce y plata) [8].

La metalurgia del Bronce Final (1200 – 900 a. C.) [9,10] supone un evidente progreso tecnológico sobre la de las etapas anteriores. Se encuentran piezas de bronce cuyo porcentaje en estaño es importante e incluso en la última etapa de esta época llegan a contener adiciones de plomo, contrastando todo ello con el cobre arsenicado propio de fases más antiguas.

Se han encontrado 48 yacimientos (Fig. 3 y Tabla III) datados en la Edad del Bronce en tierras palentinas [3].

2.1.4. Primera Edad de Hierro.

Esta etapa (S. X – IV a. C.) se caracteriza respecto a las edades anteriores por un cambio en el ritual funerario [11]; la inhumación es sustituida por la incineración de los difuntos, cuyas cenizas son soterradas en urnas [12].

La llegada de los campos de urnas a la meseta coincide con la primera Edad de Hierro, que se concreta en la “facies Soto de Medinilla” (Valladolid), definida por una arquitectura de adobe, por la práctica de la agricultura y por el empleo de un utillaje cerámico típico.

Así, estas gentes se asentaron en el valle del Duero hasta su conexión con el Ebro Medio, proyectándose hacia el noroeste peninsular.

El centro de esta cultura parece ser Tierra de Campos, zona que morfológicamente se adapta bien a la economía agrícola de estas gentes, siendo Palencia una de las provincias pertenecientes a esta cultura.

En esta etapa se da la coexistencia de las metalurgias del bronce y del hierro.

La primera etapa de la Edad de Hierro en la provincia de Palencia no ofrece ningún yacimiento conocido, aunque se sabe que el hierro comienza en la primera mitad del primer milenio a. C [3].

Tabla III: Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos del Bronce.

	LOCALIDAD	YACIMIENTO
1	Abarca	El Cementerio
2	Abastas	Cascajar, Cachapera
3	Villanueva de Henares	Piedra Incada
4	Aguilar de Campo	Aguilar de Campo, Presa de Aguilar
5	Nogales	Canto Pintado
6	Ampudia	Las Arcas
7	Amusco	Km. 25
8	Autilla del Pino	San Miguel
9	Autillo de Campos	El Cementerio
10	Barcena de Campos	San Cebrián
11	Becerril de Campos	Picón de la Monja
12	Belmonte de Campos	Barrios, San Salvador
13	Capillas	Arenales, Quintanas
14	Castil de Vela	Cota 752
15	Roscales de la Peña	Castrejón
16	Celada de Robledo	Celada
17	Cisneros	El Losal
18	Dueñas	Pico de Castro
19	Frechilla	Frailas, Las Pedreras
20	Fuentes de Nava	Quintanas- Pozalejas, La Misa, La Loma
21	Grijota	Fuente Hospital, El Foso
22	Herrera de Pisuerga	La Chorquilla
23	Magaz de Pisuerga	El Cementerio, El Rosal
24	Mazariegos	Cuesta de Padilla
25	Mazuecos de Valdeginete	Valceder
26	Meneses de Campos	Las Quintanas
27	Palencia	Tejares del Otero
28	Palenzuela	Palenzuela
29	Paredes de Nava	Arroyo de Mataburros, La Ciudad
30	Población de Campos	Las Eras
31	Villaescusa de las Torres	Cueva Rubia
32	Revilla de Pomar	Canto Hito, Cueva del Toro
33	Quintanilla de Onsoña	La Loma
34	Reinoso del Cerrato	Santa Lucía
35	Resoba	Peña del Cucubillo
36	Revilla de Campos	La Cotorra. La Loma, La Cera, El Castillo, La Frontera, Santaúvenia
37	Saldaña	Saldaña
38	Amayuelas de Abajo	La Orca
39	Ariego de Cerrato	Km. 2. Camino Nuevo, Camino carretero a Valladolid
40	Torremormojón	El Palomar
41	Valderrábano	Valderrábano
42	Villalcazar de Sirga	Villalcazar de Sirga
43	Villalumbroso	La Cruz
44	Villamartín de Campos	San Martín, Palomares, Matalasno, Piélagos
45	Villatoquite	Palomineras
46	Villaviudas	Los Barrios
47	Casasobres	Los Burros
48	La Vid de Ojeda	La Vid de Ojeda

2.1.5. Segunda Edad del Hierro.

Esta etapa (S. IV – I a. C.) contempla dos importantes novedades técnicas; por un lado, la utilización masiva del nuevo metal, y por el otro, el uso del torno para la elaboración de las cerámicas, dejando de ser en muchos casos producciones locales que pasarán a tener un carácter industrializado, alcanzando su máximo desarrollo en vísperas de la conquista romana [13].

En esta etapa las tierras montañosas septentrionales de la provincia de Palencia están ocupadas por los cántabros, mientras que las tierras bajas de la cuenca sedimentaria están ocupadas por los vacceos, unas de las tribus más importantes del grupo celtibérico [14]. Estos dos pueblos, se reparten la práctica totalidad del suelo provincial, a excepción de dos pequeños y problemáticos entrantes, por la parte

oriental, de turmódigos, que no superan el Pisuerga, y de arevacos, que no pasan el Arlanzón, pero que en el último caso explicaría la existencia de dos Pallantia en estas tierras; una vaccea, la actual Palencia, y otra arevaca, la villa de Palenzuela [15].

Estos pueblos tienen una forma de hábitat característica en castros, es decir, los poblados se asientan en lugares fácilmente defendibles, acrecentándose esta cualidad en muchos otros casos mediante obras artificiales de fortificación [16,17].

De esta época, sí se han hallado un total de 43 yacimientos en la provincia de Palencia (Tabla IV y Fig. 4) [3].

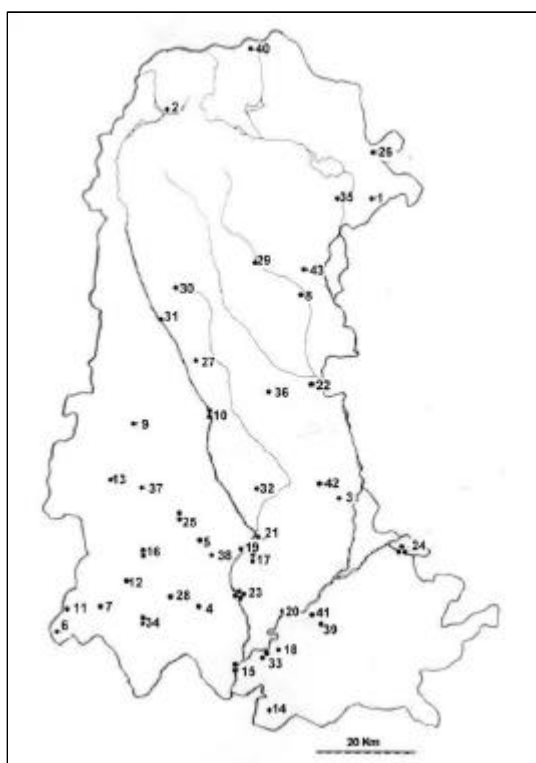


Fig. 4: Yacimientos Palentinos de la Edad del Hierro.

2.1.6. Época Prerromana.

A la llegada de los romanos a la Península, en el 218 a. C. [18], las tierras de la actual provincia de Palencia, salvo alguna penetración de los cántabros y los turmódigos en el norte, estaban ocupadas por el pueblo vacceo [19].

Tabla IV: Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos del Hierro

	LOCALIDAD	YACIMIENTO
1	Gama	Castro de los Baraones
2	Alba de los Cardaños	Peña de la Dehesa
3	Astudillo	Astudillo
4	Autilla del Pino	Cárcavas
5	Becerril de Campos	Secontia Paramica
6	Belmonte de Campos	El Castillo
7	Boada de Campos	La Ermita
8	Calahorra de Boedo	Calahorra
9	Calzadilla de Cueva	Castromuza
10	Carrión de los Condes	Iglesia de Belén, Carrión de los Condes
11	Castil de Vela	El Castillo
12	Castromocho	El Cenizal
13	Cisneros	Cenizales
14	Cubillas de Cerrato	Cubillas
15	Dueñas	Pico Castro
16	Fuentes de Nava	Quintanas-Pozalejas, El Polo
17	Fuentes de Valdepero	Fuentes de Valdepero
18	Hontoria de Cerrato	Santa Coloma
19	Husillos	Husillos
20	Magaz de Pisuerga	El Castillo
21	Monzón de Campos	Las Bodegas
22	Osorno	Las Cuestas
23	Palencia	Laguna de la Sasa, Convento de las Filipenses, Antiguo Asilo, C/ Queipo de Llano
24	Palenzuela	Cerro de la Horca, Pozo de San Pedro, Necrópolis
25	Paredes de Nava	La Ciudad, Carvegas
26	Quintanilla de las Torres	Monte Bernorio
27	Villaproviano	Relobón
28	Revilla de Campos	El Piojo
29	Revilla de Collazos	La Fresnada
30	Villasur	San Cristóbal
31	Saldaña	La Morterona
32	Amayuelas de Abajo	El Cementerio
33	Tariego de Cerrato	Tariego de Cerrato, Páramo Castro
34	Torremormojón	El Palomar, La Cárcava
35	Olleros de Pisuerga	Monte Cilda
36	Villaherreros	Carreserías
37	Villatoquite	El Río
38	Villaumbrales	La Cruz
39	Villaviudas	Barrios
40	Casavegas	El Chozo
41	Reinoso de Cerrato	Las Bodegas
42	Santoyo	Las Bodegas
43	Villabermudo	Villabermudo

2.1.7. Época Romana.

2.1.7.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA.

El pueblo vacceo ocupa la mayor parte del sur y centro del solar palentino, alcanzando hasta una línea que aproximadamente iba desde el sur de Amayo y Sierra del Berzo a Villalba de Guardo y la Cuenca alta del Carrión. Por el Este, una estrecha franja vertical en torno al Pisuerga era ocupada por otro pueblo; los turmódigos, a quienes pertenecía la ciudad de Pisoraca [20]. En el resto del territorio norteño provincial se asentaban los cántabros, divididos en varios “populi”, moroicanos (en la zona de Aguilar de Campoo), vellicos (en torno a la Sierra de la Peña Labre y curso del Pisuerga) y los tamaricos (en torno a Velilla).

El contacto del ejército de Aníbal durante su penetración hacia el interior de la Península con los vacceos, fue esporádico [21]. Así, la influencia cartaginesa en el actual territorio palentino no llegó hasta el año 179 a. C., en una operación conjunta de los gobernadores de Ulterior (L. Postumio Albino) y de Citerior (T. S. Graco) que intentaban atacar a los vacceos por los flancos oriental y occidental. Las victorias de los vacceos obligarán a los celtíberos a aceptar la paz y, mediante tratados, comprometerse a pagar tributo, enviar tropas auxiliares al ejército romano y abstenerse de edificar nuevas ciudades. Los pueblos que aceptaron estos tratados fueron los vacceos, arevacos, bellos y tittos.

Posteriormente, el territorio palentino, sí se vería directamente afectado por las guerras celtibéricas desarrolladas entre los años 153 y 133 a. C., que terminarán con la caída de Numancia. Vacceos y galaicos participan directamente en las luchas lusitanas, y vacceos y cantabros se unen a los numantinos ayudándoles con hombres y víveres.

Numancia fue rendida y destruida en el verano del 133 a. C [22]. La incidencia que tuvo su caída en los restantes territorios de la Meseta aún independientes, y en los ya controlados por Roma, debió ser considerable. La ciudad arévaca, que repetidas veces había humillado a los romanos, era el símbolo de la independencia celtibérica, y su destrucción, después del fracaso de la rebelión lusitana de Viriato, supuso la desmoralización general ante la máquina de guerra romana.

En el 104 a. C., los cimbrios, procedentes de Jutlandia, cruzan los Pirineos, tras invadir la Galia; saquean Cataluña y se dirigen hacia la Meseta Superior, remontando el Ebro. A pesar de su gran número fueron rechazados por los celtíberos junto a vacceos [23].

En el 99 a. C. Se produce una revuelta de celtíberos y vacceos venciendo a Coelio Caldo. Roma envía a la Península en el 98 a. C. a Tito Didio, quien propina un duro escarmiento a los sublevados.

En el 75 a. C., tras un largo año de luchas, Pompeyo ataca a los aliados de Sertorio, celtíberos y vacceos. La lucha termina con el fallado cercamiento de Pallantia en el año 74 a. C. por Pompeyo.

Cesar realizó en el 61 a. C., como pretor de Ulterior, la campaña contra lusitanos y galaicos. Cuando, en el 56, este general se hallaba en plena conquista de la Galia, hubo un levantamiento de las tribus vacceas, secundadas por arevacos y vetones, produciéndose el sitiado de Clunia y una precaria paz posterior.

En el año 43 a. C. se forma el llamado segundo triunvirato y sus miembros se reparten las provincias del Imperio. Hispania, tras un breve período en poder de M. A. Lépido, pasa a control de Octaviano, en el año 40 a. C., quien gobierna a través de sus legados.

En el año 26 a. C. viene Octaviano Augusto a la península para dirigir personalmente la estrategia de la guerra, que intenta finalizar de forma definitiva y victoriosa, completando así la conquista de Hispania [24].

Augusto abandonó Hispania a finales del año 23 a. C. Los cántabros y astures vuelven a sublevarse en el 24 a. C., burlando el legado de Lucio Lamia, quien sofoca la rebelión imponiendo duros castigos a los indómitos guerreros del Norte, reduciéndoles a la esclavitud y deportando a muchos de ellos.

En el año 19 a. C. vuelve una revuelta de los cántabros, pero Agripa, dejando las Galias, restablece la paz obligada y de organizar el territorio para implantar en él la administración romana.

Posteriormente comenzará el Bajo Imperio [25], o decadencia del Imperio Romano, hasta que en el año 476 d. C. su desaparición es total.

Los yacimientos de la época romana en Palencia se cifran en 77 (Tabla V y Fig. 5) [3].

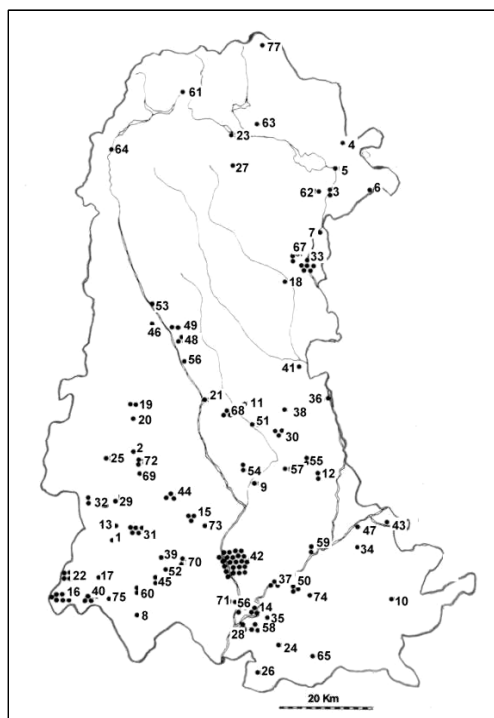


Fig. 5: Yacimientos Palentinos de la época Romana.

Tabla V: Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos romanos.

	LOCALIDAD	YACIMIENTO
1	Abarca	El Cementerio
2	Abastas	Predicadero
3	Mave	Mave
4	Nestar	Puente Perdido
5	Aguilar de Campoo	Legio IV
6	Puentetoma	Puentetoma
7	Nogales	La Quintanilla
8	Ampudia	La Quintana
9	Amusco	Rombrada
10	Antigüedad	Antigüedad
11	Arconada	Arconada
12	Astudillo	Valdeolmos, El Oro
13	Autillo de Campos	La Caseta
14	Baños del Cerrato	Los dos Nogales, Los Almendros, Baños de Cerrato
15	Becerril de Campos	Secontia-Paramica, Picón de la Monja, Carreastro
16	Belmonte de Campos	San Salvador, Santa Cruz, Cenizales, Las Coronas, El tejadillo, Los Mirones, Fuente de la Vega
17	Boada de Campos	Los Cenizales
18	Calahorra de Boedo	Valdemira
19	Calzadilla de la Cueva	Castromuza, Calzada
20	Quintanilla de la Cueva	Pago de Tejada
21	Carrión de los Condes	Iglesia de Belén
22	Castil de Vela	La Coloma, Villalinvierno, Teso del Sacristán, Las Quintanas
23	Ruesga	Ruesga
24	Cevico de la Torre	Cevico
25	Cisneros	La Monja
26	Cubillas del Cerrato	Cubillas
27	Colmenares de Ojeda	El Otero
28	Dueñas	Villa Possidica
29	Frechilla	Frailas
30	Fromista	Las Calderas, Pozo Mingo, Toncejares
31	Fuentes de Nava	Corral del Santo, San Andrés, Santa Mª de la Nava, Alto del Castillo, El Polo, Alto de las Torres
32	Guaza de Campos	Soguilar, El Albillo
33	Herrera de Pisuerga	La Chorquilla, Calle Estrecha, La Ribera
34	Herrera de Valdecañas	Santa Lucía
35	Ontoria del Carrato	Santa Coloma
36	Lantadilla	Santa María
37	Magaz del Pisuerga	El Cementerio, El Chopo, El Rosal
38	Marcilla de Campos	Los Cantos
39	Mazariegos	Mazariegos
40	Meneses de Campos	Chaparradas, La Horca, Viyaya
41	Osorno	Dessobriga
42	Palencia	Laguna de Sarga, Pallantia Carrión, Estación, Carcavilla, Huertas Bajas, c/ Queipo de Llano, Catedral, c/ Vicente Calderón, Eras del Bosque, Pico del Tejero, c/ Barrionuevo, Arroyo de Villalobón, Hermanitas de los Pobres, Casa Grande, c/ Arbol del Paraíso, Mayorazgo del Cid, Puerta de Burgos, Plazuela de Cervantes, Hornagones, Convento Trinitarias, Nazarenas, c/ del Arco
43	Palenzuela	Pallantia
44	Paredes de Nava	La Ciudad, El Embarcadero
45	Pedraza de Campos	El Villar, Fondique
46	Pedrosa de la Vega	La Olmeda
47	Quintana del Puente	Quintana del Puente
48	Quintana de Onsoña	Los Melgares, Las Quintanas, La Serranilla
49	Velillas del Duque	Cornonones
50	Reinoso de Cerrato	La Caseta, La Guindalera
51	Revenge de Campos	Fuente Sirga
52	Revilla de Campos	Revilla de Campos
53	Saldaña	La Morterona
54	Amayuelas de Abajo	Cementerio, La Horca
55	Santoyo	Revillavalla, Las Quintanas
56	La Serna	Los Moros
57	Tamara	Tamara
58	Tariego de Cerrato	Tariego de Cerrato, Km. 2, La Charca
59	Torquemada	Mansilla, El Vivar
60	Torremormojon	La Serna, El Villar
61	Vidrieros	Puenteteblo
62	Olleros de Pisuerga	Monte Cildá
63	Valsadornin	Ermita Santa Agueda
64	Velilla - Carrión	Fuentes Tamáricas
65	Vertavillo	Las Quintanas
66	Venta de Baños	Venta de Baños
67	Villabermudo	Alto de los Pradillos, Fuentemán
68	Villalcázar de Sirga	La Calzada, Las Hortezuellas, Villalcázar de Sirga
69	Villalumbroso	San Martín
70	Villamartín de campos	Matalasno, Barruez
71	Calabazanos	Calabazanos
72	Villatoquite	San Zoil, Cantera
73	Villaumbrales	Los Cenizales
74	Villaviudas	Barrios
75	Villerías de Campos	Villerías
76	Villorodrigo	Villorodrigo
77	Piedrasluengas	Juanfria

2.1.7.2. VÍAS ROMANAS.

Los medios de penetración de la cultura romana entre las gentes de la Meseta Norte y tierras cántabras serán, al igual que en las demás zonas, a través de la construcción de una red viaria, indispensable para la explotación agrícola y minera y, para el intercambio comercial [26].

Con referencia a las villas objeto de estudio (Fig. 6); una vía del norte conocida como vía 16 – 15, estaría cerca de la villa de La Olmeda. Se trata de la vía Abia de las Torres - Saldaña, cuyo itinerario sería Abia, Bahillo, Gonzón de Uciera, Villaproviano y Saldaña.

En el caso de la villa de La Tejada, se comprueba la existencia de una vía que ponía en comunicación la provincia de Palencia con el valle del Duero. Esta vía era conocida como 32 y 34 de Antonio, en Calzadilla de la Cueva y conducía hasta Clunia, con este recorrido: Quintanilla de la Cueva, Paredes de la Nava, Becerril, Palencia, Magaz, Baltanás, Cevico Navera, Tórtoles de Esgueva, tomando luego el valle de Esgueva, hasta Clunia.

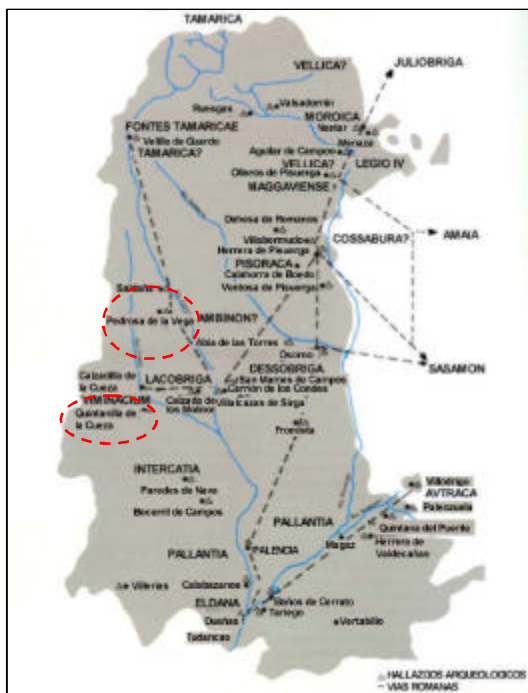


Fig. 6: Localización de vías y hallazgos arqueológicos cercanos a las villas de La Olmeda y La Tejada.

2.1.7.3. ECONOMIA.

✍ Minería.

No se cuenta con datos sobre explotaciones mineras romanas en la provincia de Palencia [26], aunque sí se han hallado acueductos en las proximidades de Velilla del río Carrión que posiblemente se hallarían conectados con las minas de la vecina provincia de León, en cuyos terrenos hay constancia de fuertes explotaciones mineras romanas hasta el siglo III a. C.

✍ Agricultura.

Toda la parte sur y centro de la provincia palentina, como área vaccea, era zona eminentemente agrícola y suministradora de excelente trigo en grandes cantidades, antes de la presencia romana.

El dominio romano aportó unas mejores técnicas y una racionalización de los cultivos cerealísticos.

En época temprana, los romanos comenzaron a poblar las zonas más propicias mediante una red de villas (Fig. 7), que era el sistema más idóneo para la explotación capitalista de la tierra cultivable.

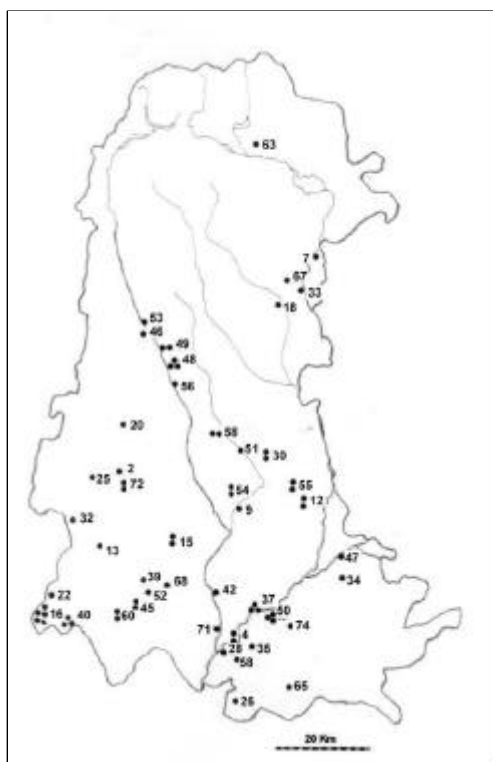


Fig. 7: Villas palentinas de época romana.

De los 77 yacimientos hallados en Palencia y datados en época romana, 69 poseen una villa de la misma época (Tabla V, en negrita).

Las villas se hallan en conexión con el campo cultivado en el que se asientan y la magnitud de sus construcciones se ajusta a la de las tierras que han de poner en rendimiento.

El destino de la villa y la explotación del campo condicionan su situación, generalmente en llanura o terrenos poco elevados, junto a un río y no lejos de una calzada, con el fin de exportar fácilmente los productos. También, condiciona su distribución interna, de manera que las edificaciones primarias son las destinadas a servicios (almacenes, establos, talleres, etc.), así como las viviendas de esclavos, colonos y administrador, y las residenciales, con lujo variable, reservada como vivienda temporal del dueño. Por último, el terreno determina el tamaño y envergadura de la villa, así como su sistema constructivo.

La catalogación de estas villas es una muestra de la dispersión de estos asentamientos en la provincia (Tabla VI).

✍ *Ganadería y Caza.*

En las tierras del norte, la ganadería estaba basada en la cría de ganado ovino, bovino y equino, además de comercializar con lana, carne y abono.

La caza de cérvidos y de jabalís era muy común como ejercicio deportivo.

✍ *Comercio.*

La provincia de Palencia, enclavada en tierras del interior peninsular, se hallaba desfavorecida y alejada de las grandes rutas comerciales conectadas con el mar. El comercio terrestre incrementaba desmesuradamente el coste de mercancías.

El comercio se haría más asequible y frecuente con otras zonas peninsulares.

Tabla VI: Cronología de algunas villas romanas palentinas [26].

INICIO	NOMBRE	PERVIVENCIA	SITUACIÓN
Siglo I	La Olmeda (Pedrosa)	Siglo III	Excavación
	La Sena	Siglo IV	Prospección
Siglo II	Calabazanos (Dueñas)	Siglo IV	Prospección
	Cercado de San Isidro (Dueñas)	Siglo IV (Reconstrucción)	Excavación
	Quintanilla de la Cueva	Siglo V	Excavación
	Villabermudo	-	Excavación
	Villaproviano	-	Prospección
	Villaviudas	Siglo V (Habitada)	Excavación
Siglo III	Quintanilla de Osoña	-	Prospección
	Valsadornín	-	Prospección
	Ventosa de Pisuega	-	Prospección
Siglo IV	Hontoria de Cerrato	Siglos IV – V (Auge)	Excavación
	La Olmeda B (Pedrosa)	Siglos IV – V (Auge)	Excavación
	Villalcazar de Sirga	-	Prospección

1. Fig. : Yacimientos Palentinos Inéditos.
2. Fig. : Yacimientos Palentinos del Calcolítico.
3. Fig. : Yacimientos Palentinos de la Edad del Bronce.
4. Fig. : Yacimientos Palentinos de la Edad del Hierro.
5. Fig. : Yacimientos Palentinos de la época Romana.
6. Fig. : Localización de vías y hallazgos arqueológicos cercanos.
7. Fig. : Villas palentinas de época romana.

- I. Tabla : Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos inéditos de varias épocas.
- II. Tabla : Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos Calcolíticos.
- III. Tabla : Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos del Bronce.
- IV. Tabla : Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos del Hierro
- V. Tabla : Localidades de la provincia de Palencia con yacimientos romanos.
- VI. Tabla : Cronología de algunas villas romanas palentinas [].

1. BLANCO-FREIJEIRO, J. VALIENTE, "La España antigua. De Altamira a Sagunto", Revista Historia 16, Extra XIII, (Abril 1980).
2. R. MARTÍN VALLS, en J. GONZALEZ, "Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media", Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp:15 – 53.
3. M. R. ALONSO, J. M. FERNÁNDEZ, E. GÓMEZ, L. ORTEGA, M.A. ROJO, M. DE VARGAS, L. DE VEGA, "Inventario arqueológico de la provincia de Palencia", Actas del I Congreso de historia de Palencia, Tomo I, Palencia, (1985), Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, pp: 443- 461.
4. MARTÍN COSTEA, G. RUIZ ZAPATERO, "La metalurgia del hierro en el poblado protohistórico de Vallipón (Teruel)", Revista de metalurgia, Volumen 10, (1980), pp: 31-40.
5. S. ROVIRA, P. GOMEZ, I. MONTERO, "Los bronce estañados de la edad del hierro: estudio tecnológico", Boletín del museo arqueológico nacional, Tomo XIV, Homenaje a Mercedes Rueda Sabater "In Memoriam", (1996).
6. HERNÁNDEZ, M. S.: "Sobre las periferias del Argar y del Sudeste. Algunas consideraciones sobre la Edad del Bronce en Alicante y Albacete". Diputación de Albacete. (1996).
7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).
8. MADROÑERO DE LA CAL, "Metodología para el estudio hidromecánico de un lavadero de Almagre y su relación con la metalurgia y la cerámica de la Edad de Bronce Final", Caesaraugusta, Número 65, (1986), pp: 77-110.
9. S. ROVIRA, P. GOMEZ, "The Ría de Huelva Hoard and the late bronze age metalwork: a statistical approach", Actes du colloque international "Bronze'96", Tome I, Paris, (1998), pp: 81- 89.
10. FERNÁNDEZ MANZANO, J. : "Bronze final en la meseta norte española: El utillaje metálico". Junta de Castilla y León. Conserjería de educación y cultura. (1986).
11. M. GIL- MASCARELL, M. E. TEJEDO, "La metalurgia del bronce final- hierro antiguo del yacimiento de la Mola d'Agres (Agres, Alicante)", Estudios de Arqueología Ibérica y romana, Homenaje a Enrique Plá Ballester, Servicio de investigación prehistórica de Valencia, Series de trabajos varios , Número 89, (1992), pp: 39 - 49.
12. " Los campos de urnas del N.E de la península ibérica. Volumen II", G. RUIZ ZAPATERO, Colección Tesis doctorales, Núm. 83/85, Departamento de prehistoria. Facultad de geografía e historia, UCM, (1983), pp:.
13. KURTZ, W.S.: "La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)". Volumen I. BAR international Series 344. (1987).

14. C. ARANEGUI, *"Iberos"*, Suplemento dominical "La revista del Mundo", Número 119, (1998), pp : 39- 46.
15. L. CASTRO GARCÍA, *"Ubicación de Pallantia Prerromana"*, Tomo III, Ed. Historia Antigua, (1973), pp: 417 – 460.
16. MARTÍN COSTEA, A. MADROÑERO DE LA CAL, V. LÓPEZ SERRANO, *"Arqueometalurgia del poblado celtibérico de "Los Castellares", de Herrera de los Navarros (Zaragoza)"*, Kalathos, 11-12, (1991/92), pp: 233- 266.
17. J. M. SOLER, *"El poblado ibérico del puntal de Salinas (Alicante)"*, Estudios de Arqueología Ibérica y romana, Homenaje a Enrique Plá Ballester, Servicio de investigación prehistórica de Valencia, Series de trabajos varios , Número 89, (1992), pp: 51 - 72.
18. J. MANGAS, *"Hispania romana"*, Historia 16, Año V, Extra XIV, (1980).
19. MONTENEGRO DUQUE, en J. GONZALEZ, *"Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media"*, Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp: 54 – 62.
20. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C. PÉREZ GONZÁLEZ, A. ILLARREGUI GÓMEZ, " *Breve avance sobre as últimas investigaciõs levadas a cabo en Pisoraca e no seu campamento lexionario*", Larouco, Volumen II, (1996), pp: 77-87.
21. J. MANGAS, *"De Aníbal al emperador Augusto. Hispania durante la República romana"*, Historia 16, Volumen 3, (1995).
22. C. GONZALEZ, N. MARÍN, J. M. ROLDÁN, *"Numancia contra Roma"*, Cuadernos de Historia 16, Número 26, (1985).
23. Palol, P., *"Palencia al final del mundo antiguo"*, Actas del I Congreso de historia de Palencia, Tomo I, Palencia, (1985), Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, pp: 345-359.
24. C. GONZÁLEZ, *"El esplendor de la España romana. El Alto Imperio en la Península Ibérica"*, Historia 16, Vol. 4, (1995).
25. F. BAJO ALVAREZ, *"Los últimos hispanorromanos. El Bajo Imperio en la Península Ibérica"*, Historia 16, Volumen 5, (1995).
26. L. J. BALMASEDA, en J. GONZALEZ, *"Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media"*, Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp: 67 – 118.

2.2. METALURGIA

Es conveniente en este apartado del trabajo conocer la etimología de la palabra metalurgia. Así, según Mohen [27], este término proviene del Latín *metallum*, que a su vez, lo hace del griego *metallon* y que designaba, en la época imperial, al producto metálico que se extrae de la mina.

2.2.1. Evolución Tecnológica.

La evolución de la tecnología, así como los descubrimientos metalúrgicos, tuvieron importantes repercusiones de orden social [28]. Durante toda la edad de piedra los diversos oficios (hilado, tejido, confección, construcción,...) habían sido practicados por los campesinos o cazadores en su tiempo libre, pero la nueva agricultura produjo excedentes, aprovechables en la alimentación de los artesanos, que ya no tuvieron que ser, además, pastores o cultivadores. El forjador, como otros artesanos y especialistas, tenía que trocar el resultado de su trabajo altamente especializado por alimentos que producían los agricultores.

El forjador primitivo extrajo los minerales y produjo herramientas de metal a partir de ellos. Pero poco tiempo después la explotación de las minas se convirtió en una tarea independiente. Incluso el tratamiento del metal se hizo un proceso demasiado complejo, y durante la edad del bronce hubo una división en tres tipos. En primer término, el metalurgista que producía el metal en bruto y lo vaciaba en barras o tortas para la venta. Seguían los herreros, que producían en masa objetos de bronce con el metal en bruto. Finalmente, los forjadores reparaban los objetos de metal deteriorados, o se especializaron en el arte de trabajar el oro y la plata.

La actividad minerometalúrgica del Imperio Romano fue intensa, se fomentaron las artes u oficios útiles, ya que había gran necesidad bélica y gran demanda por parte de una sociedad urbana rica y avanzada [29-31]. La especialización en el trabajo u oficios había alcanzado cotas tan altas, que se puede decir que ha permanecido invariable hasta nuestros días. Al igual que ha ocurrido con las herramientas utilizadas por los distintos profesionales [32].

La historia de la metalurgia comienza con el hombre del Paleolítico, el cual excavó para hallar pedernal, y aprendió a pulimentar la piedra. Estas operaciones le eran necesarias para fabricar armas, que posteriormente usaría en la caza [33]. Sus descubrimientos crearon las primeras enseñanzas, dentro de las tribus o clanes, por medio de pinturas murales [34].

Hasta principios de la Edad del Hierro, el hombre se venía desenvolviendo con seis metales (oro, cobre, plata, plomo, estaño y mercurio) y algunas aleaciones como: Bronce: Aleación de cobre – estaño (mínimo 40%): Latón: Aleación de cobre – zinc (20-40%) – Zinc (trazas). [35]

Hay varias razones por las que fueron precisamente éstos los primeros metales en conocerse:

- a) Ciertos elementos llamaban la atención por su color y brillo.
- b) Algunos de ellos (oro, plata, cobre, hierro meteórico) pudieron encontrarse en la naturaleza en estado nativo.
- c) Los óxidos de cobre, plomo, estaño y hierro eran fácilmente reducidos, por debajo de los 800 °C, con carbón vegetal. Esas temperaturas se podían alcanzar fácilmente en un hogar alimentado con madera (agente reductor).
- d) Debido a los bajos puntos de fusión de algunos de estos metales, como el plomo, el estaño y el mercurio (líquido a temperatura ambiente), fácilmente podían separarse, aprovechando su fluidez, del resto de la carga o de la escoria producida durante los procesos de fusión. [35]

Debida a la abundancia de metales que se encontraban en la naturaleza en estado nativo (oro, plata, cobre e hierro meteórico), durante todo el período Neolítico fueron recogidas pequeñas pepitas de estos metales para utilizarlas como cuentas o amuletos. Conforme se logró darles formas por medio del corte, de la trituración o del martilleo, se fueron convirtiendo en ornamentos y baratijas. [36]. Naturalmente que este tipo de trabajo del metal no es la verdadera metalurgia, sino simplemente la aplicación de las técnicas del trabajo de la madera y de la piedra a un material cuyas propiedades específicas no se conocían aún. [28].

Una muestra de la evolución de la metalurgia en metales que se encuentran en la naturaleza en estado nativo, lo supone el oro. Este metal se mostraba en pequeños granos o “pepitas” en las riberas de los cambios de curso de los ríos de montaña y también en hebras doradas dentro de algunos cristales de cuarzo. Su uso debió orientarse hacia la orfebrería y el trueque, tal y como se conoce en el antiguo Egipto, donde el oro se batía, forjaba y soldaba utilizándose para la fabricación de monedas [36].

Sin embargo, en la producción de oro, la química representaba un papel escaso. En principio, el metalurgista tiene solamente que triturar el mineral que contiene oro y concentrar las partículas auríferas levigándolas para eliminar la ganga o residuo inútil,

a una temperatura de 1064 °C. Las partículas de oro se funden y el metal se vacía en anillos o barras para el comercio. Este fue, en efecto, el esquema de la metalurgia del oro hasta bien entrados los tiempos históricos.

Cuando se descubrió que a temperaturas más elevadas, estas pepitas (de metal nativo) acababan por fundirse y podían vaciarse en algún molde cuya forma conservaban al enfriarse, entonces nació el forjador, el artesano experto que conocía las cualidades misteriosas de estas piedras especiales, que podía transformarlas en metal perdurable y forjar herramientas y armas. Los objetos de metal empezaron a adquirir formas específicas y dejaron de imitar las herramientas de piedra o cuerno, como sucedía en épocas más primitivas.

La obtención de los metales a partir de sus minerales, marca el nacimiento de la tecnología metalúrgica; comienza por el cobre, plomo, la plata, el antimonio, y un milenio más tarde el estaño. El uso del carbón vegetal y el soplado del aire sobre brasas incandescentes, permitía alcanzar temperaturas muy superiores a las conseguidas quemando leña. Sin embargo, las temperaturas alcanzadas, si bien eran próximas a los 1000 °C, permanecían en intervalos inferiores a los necesarios para fundir estos metales y sus minerales. No obstante, la utilización del carbón vegetal supuso disponer de un eficaz reductor de los óxidos metálicos, el monóxido de carbono, que es liberado en la reacción del carbón con el óxido del metal. Esta reacción química, descubierta en forma completamente accidental antes del alba de la historia, es la base de la metalurgia moderna. Independizó al hombre de los escasos depósitos de metales nativos y puso en sus manos los grandes yacimientos de minerales, vetas y bolsones que todavía abundaban en la Antigüedad, aunque al final del Imperio Romano habían quedado agotados en su mayor parte. Este descubrimiento se hizo antes de que se iniciara la historia escrita, como demuestran los hallazgos de crisoles prehistóricos para fundir metal y de diversos utensilios metalúrgicos.

El análisis de los objetos primitivos de cobre demuestran que los forjadores advirtieron que el cobre puro era excesivamente blando para servir como sustituto de la piedra. Pronto empezaron a mezclar los metales que obtenían (alear) e hicieron experimentos fundiendo el cobre con diferentes minerales. Aprendieron que los bronce de antimonio o plomo no eran materiales satisfactorios para herramientas y armas, pero que se obtenían resultados estimables refinando el cobre con mineral de estaño. La producción de bronce en proporción de hasta un diez por ciento de estaño, debió comenzar también a desarrollarse junto a la fusión del cobre nativo y de los minerales de cobre. El hallazgo ocurrió en Mesopotamia hacia el año 3000 a. C. La cultura del

bronce aparece hacia 1550 a. C., en España, en el área del Argar, Murcia- Alicante, en la que se trabajaban de forma no consciente bronce con arsénico, procedentes de los minerales de la Sierra de Cartagena de forma fortuita, como consecuencia de fundir los óxidos de cobre, o cobre nativo, con casiterita como fundente. Su utilidad radicaba en su más fácil fusión, en su colabilidad, muy adecuada para fabricar piezas moldeadas en arcilla, y en su dureza y tenacidad. Este hecho supuso un enorme avance en la calidad de los utensilios de caza y defensa.

La elaboración de aleaciones se difundió rápidamente al principio de los tiempos históricos. Aunque la metalurgia de la edad del bronce se caracterizaba fundamentalmente por la fabricación de herramientas y armas de bronce, recorrido un cierto intervalo de tiempo se descubrieron más aleaciones adecuadas para aplicaciones especiales, como el vaciado de campanas, los espejos metálicos y otros objetos análogos. Por ejemplo, determinadas aleaciones eran adecuadas para la elaboración de espejos pulimentados, en tanto que resultaban demasiado frágiles para otros usos. Gradualmente, la composición de las aleaciones se logró determinar con más exactitud. A fines de la edad de bronce, por lo tanto, el arte de producir aleaciones se había perfeccionado y pudo adherirse a composiciones adecuadas en forma mucho más precisa, pese a que el número de aleaciones se había multiplicado.

Con referencia al hierro, inicialmente el meteórico fue la única fuente de este metal ya que se presentaba sin formar compuestos, no necesitaba ser reducido y era posible hallarlo en suelos apenas roturados. Se distingue fácilmente del obtenido a partir de mineral debido al alto porcentaje de níquel que posee. Así se cree que son de este origen los amuletos encontrados en las pirámides de Egipto que datan de 7000 años a. C., objetos pequeños y generalmente apenas trabajados en frío [37,38].

Debido a la escasez de este tipo de hierro (meteórico) se justifica el reducido número de ejemplares conocidos, a lo que se suma la evidente facilidad de corrosión de este metal que impide su conservación.

Por otra parte, una vez aplicado el fuego a la obtención de los metales no podía demorarse mucho la utilización del hierro dada su abundancia y la fácil reducción de sus óxidos por carbón vegetal a baja temperatura, aunque hay que tener en cuenta que existía un problema de difícil solución; lograr encontrar un horno capaz de soportar las temperaturas de fusión de los minerales de hierro que no eran posible lograrlas en hornos de alfareros o de cal [39]. Parece que el desarrollo de la industria del hierro se comienza a dar predominantemente a partir del primer milenio a. C. [40], fecha con la que se ha datado a una columna de siete metros de altura y cuarenta

centímetros de diámetro, hallada en la ciudad india de Delhi, cuyo buen estado de conservación se achaca a la extremada pureza con la que está fabricada que le ha permitido resistir a la corrosión ambiental a lo largo de los siglos.

Aún así, también se tiene constancia de la utilización de hierro desde hace más de 5000 años a. C, en los objetos de este metal encontrados en la Gran Pirámide donde queda probado el empleo de sierras y herramientas de acero, por parte de los Asirios. [41]. Así, no puede establecerse si el descubrimiento del hierro tiene un origen común y único o se produjo independientemente en diversos puntos de la Tierra al unísono. El hecho de que el hierro se haya empleado ampliamente en el hemisferio oriental por tribus de muy bajo nivel de civilización y que, en cambio, imperios como el azteca, de muy elevada civilización, lo desconociese, a pesar de existir abundantemente mineral de hierro en su territorio, parecer abonar la primera hipótesis de un origen único. No obstante, no deja de ser extraño que se hayan hallado vestigios de empleo del hierro, ya en uso en Asia, en tribus salvajes de África meridional, que no habían llegado a emplear el cobre, si hay que suponer que su conocimiento fuese debido a la difusión a través de dos continentes en épocas de tan lentas comunicaciones.

A pesar de todo lo expuesto hasta ahora, se ha venido adjudicando el descubrimiento de la metalurgia del hierro al pueblo vasallo de los hititas, los cálibes, que habitaban cerca del río Termodonte, en el Ponto (Asia menor), quien logró, unos 1500 años a. C., un método ingenioso para obtener el hierro sin fundirlo, aglutinando partículas en estado pastoso. Lentamente, esta técnica del hierro se transmite hacia Occidente, siendo conocida en la Península Ibérica unos 500 años a. C. El método de obtención de hierro sin fusión necesita de dos procesos: el cinglado y la forja. En la primera operación, el mineral molido (óxidos generalmente) y el combustible (madera) se introducían en un tronco de árbol hueco recubierto interiormente de arcilla, o en un tosco horno de materiales refractarios (areniscas, cuarcitas, arcillas). Allí iniciaban los ferrones la combustión avivándola con fuelles de piel movidos con las manos o los pies. Esta tarea agotadora limitaba la cantidad de mineral que era posible tratar con una hornada. El oxígeno del óxido, se combinaba con el carbón de la madera, y el hierro quedaba libre, en estado pastoso entre las escorias fundidas. Para aglutinar estas partículas de hierro reblandecido en una esponja o zamarra, se cinglaba, golpeando a mano la masa con un martillo; de este modo se expulsaban las escorias, soldándose las partículas de hierro aisladas. Un avance importante en este procedimiento, fue la sustitución de la madera como combustible por carbón vegetal, obtenido al quemar parcialmente la leña, consiguiéndose así un producto de mayor poder calorífico que la madera. Una vez obtenido la zamarra, era preciso efectuar las

operaciones para dar al hierro la forma adecuada según los usos y aplicaciones a los que se destinaba. Este hierro, que se obtiene sin fusión, es muy puro, y se puede conformar calentándolo de nuevo, y batiéndolo a mano con un martillo; de este modo se le da forma fácilmente, en la operación de forja. Pero el hierro así obtenido es bastante blando. Para endurecerlo es necesario añadir al hierro puro pequeñas cantidades de carbono, operación que ya conocían los cálibes de Asia Menor, unos 1500 años a. C. El modo de transmitir carbono del carbón de leña al hierro forjado para convertirlo en acero, es decir, de cementarlo, es manteniéndolo en contacto directo el hierro y el carbono, en caliente, entre cinco y siete días, martillando la pieza para contribuir a acelerar el proceso. Así se conseguía acero de un modo directo, el único modo posible durante siglos. Este acero de cementación (que contiene entre 0.15 y 1.5 % de carbono), es ya muy duro, aunque frágil, rompiéndose con facilidad cuando es golpeado y, por tanto, inservible para su aplicación como armas. Dos siglos después de la aparición de la cementación, los ferrones descubren el temple del acero. Si se enfría el acero caliente en agua (temple) éste cobra tenacidad, perdiendo la fragilidad y convirtiéndose en un producto de gran valor, que se emplea en la fabricación de armas blancas y aperos de labranza [39].

Frente a los 327 °C que provocan la fusión del plomo, los 900 °C de los bronce y los 962 °C, 1064 °C y 1082 °C de la plata, el oro y el cobre respectivamente, se necesitan 1520 °C para obtener el hierro en estado líquido [39]. Para alcanzar estas temperaturas era necesario que un combustible sólido pudiese arder con llama corta, o lo que es lo mismo que la cantidad de materia volátil no fuese elevada [42, 43]. El combustible sólido no podía ser la madera ya que la cantidad de material volátil era muy elevada, y se tuvo que recurrir a la utilización de carbón vegetal. También se utilizó carbón mineral (como la antracita), aunque este carbón era más utilizado en la operación de forja que en la de reducción. Se piensa que la reducción del mineral mediante gases, era una técnica muy compleja ya que era necesario, por un lado la producción de un gas reductor, en un equipo, y por otro lado la utilización de un horno de reducción, además de que ambos equipos se utilizasen simultáneamente. Así los hornos fueron evolucionando con el paso del tiempo. El horno más antiguo conocido [44,45] para la obtención del hierro es el horno de cazoleta (Fig. 8). Este

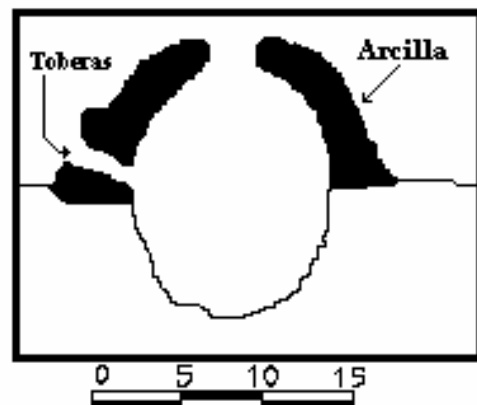


Fig. 8: Horno de Cazoleta.[44]

horno no es más que un agujero excavado en la tierra o en la roca, donde se insufla aire a través de toberas con un fuelle, que normalmente estaba fabricado con pieles de animales. La bóveda solía ser de arcilla. Su funcionamiento era muy simple, consistía en mezclar mineral molido y coque que se depositaba en el horno previamente calentado. De esta manera, en este horno no se podían alcanzar temperaturas superiores a 1150 °C y como, además, no se disponía de piqueta de sangrado, el producto resultante era una torta de escoria con pequeñas gotas de masa metálica que quedaba depositada en el crisol del horno. La masa metálica o pella se sacaba del horno rompiendo la bóveda, y posteriormente se procedía a su batida.

Este horno fue reemplazado, ya en tiempo de los romanos, por uno más desarrollado (Fig. 9) conocido por horno de chimenea que permitía conseguir y mantener condiciones reductoras. Poseían una piqueta para sangrar la escoria. Estos hornos se pueden dividir en dos grupos; los que tengan tiro natural (A) y los de forzado de aire (B). Dentro de cada uno de estos dos grupos podemos distinguir entre hornos cónicos (1) y hornos cilíndricos (2).

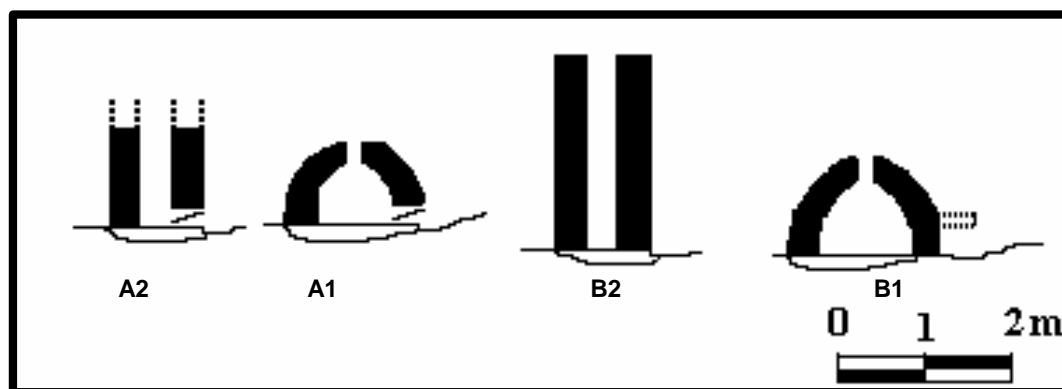


Fig. 9: Esquema de hornos de chimenea.[45]

A1: Cónico con tiro natural.

A2: Cilíndrico con tiro natural.

B1: Cónico con tiro forzado.

B2: Cilíndrico con tiro forzado.

La máxima temperatura que se alcanzaba en este tipo de hornos de chimenea era de 1200 °C, de manera que como la temperatura de fusión del hierro es de 1540 °C no se daban las condiciones necesarias para la obtención del mismo, y lo que se obtenía seguía siendo lo que hemos llamado pella. Esta pella (Fig. 10) era partida en primer lugar y, posteriormente, se podían unir los pequeños trozos de hierro que contenían mediante batida [46]. Estas gotas metálicas se podían distinguir del resto porque eran dúctiles y fáciles de dar forma mediante martilleado [47]. Se soldaba en una gran

pieza combinando el efecto térmico y mecánico (mediante martilleado) constituyendo el proceso denominado forja. En algunos casos, la masa de metal contenía gran cantidad de hierro y podía ser forjada en una única pieza.

Si el contenido de combustible era grande y el proceso era eficiente, el hierro podía absorber gran cantidad de carbono y formar una aleación (acero o fundición) con temperaturas de fusión de 1150°C, formando charcos en la solera del horno [48].

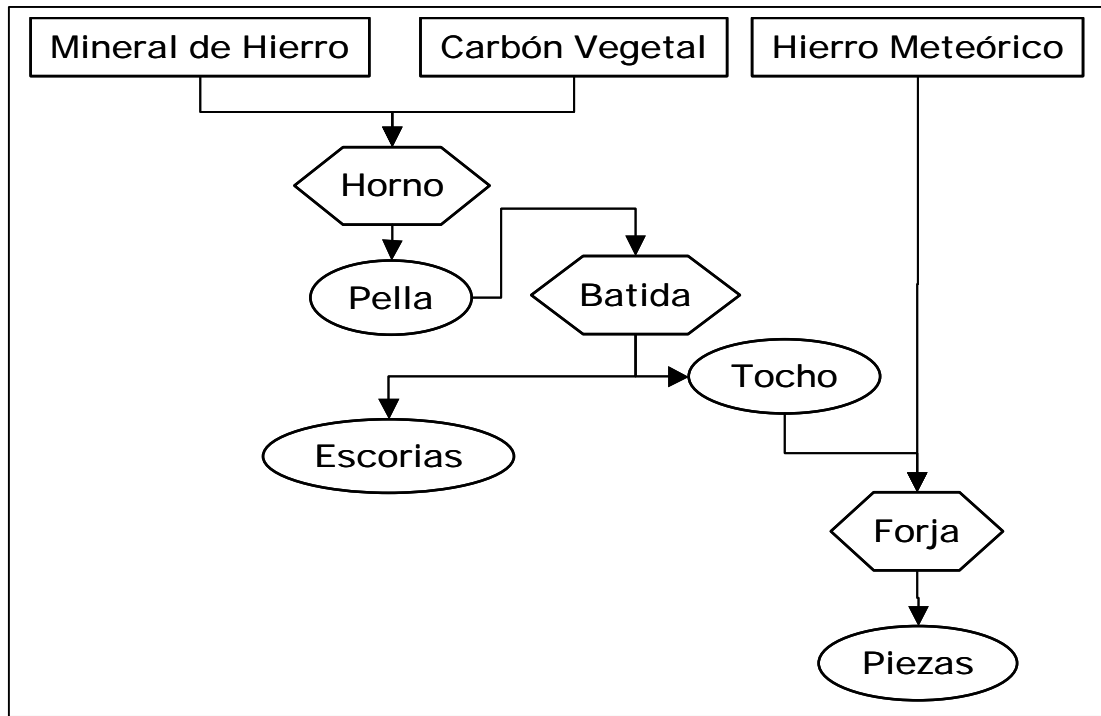


Fig. 10: Proceso de fabricación de piezas de hierro a partir de sus materias primas.

De acuerdo con la evolución en la producción de hierro se distinguen cuatro estadios en función del tipo de mena utilizada [49]:

A.- Inicios. Se caracteriza por utilizar una mena sin ganga.

1.- Cobre nativo.

2.- Descomposición de menas casi puras y reducción simple de óxidos fácilmente reducibles.

B.- Menas con ganga silícea.

3.- En el Calcolítico inicial se explotaron menas de tipo carbonatos y óxidos, utilizando hematites en polvo como escorificante. El cobre sale muy puro y la escoria contiene cobre que no se beneficia.

4.- Calcolítico evolucionado. Se mejora la marcha del horno de extracción. Los hornos eran cargados con óxido de hierro que contenían sílice para formar fayalita. La posible mena hematítica de óxido de hierro pulverizado utilizable en esta época sería de arrastre arenoso de un criadero de tipo hematítico. Las escorias eran ferrosas con nódulos de hierro libre, imposibles de reutilizar debido a su conformabilidad en caliente consecuencia de su insuficiente contenido en fayalita.

C.- Hierro como subproducto del cobre.

5.- En la cultura del Hallstat se obtenía el cobre a partir de sulfuros. Era un cobre negro (hasta un 4% de hierro) con restos de sulfuros de hierro (tanto en forma reducida como formando magnetita y wustita en una matriz fayalítica).

6.- Se aprovechan las cenizas de tostación de sulfuros, ya que la demanda de hierro es muy grande. Las escorias y el hierro así obtenido contienen bastantes restos de azufre en forma de sulfuros.

D.- Siderurgia.

7.- El siguiente estadio se obtendría la misma pasta vítrea ferrosa de Hallstat pero sin restos de cobre o azufre. Se observa la presencia de óxido de titanio que nos indica la utilización de menas ferruginosas.

8.- El hierro de La Tène, que utiliza una escoria netamente fayalítica, y así obtiene un hierro limpio de escorias. Para obtener el acero utilizan como mena el material de mina que añade al hierro algo de manganeso y que hace templables a estos hierros.

9.- El hierro romano es el hierro de La Tène pero en producción masiva (se reúnen todas las industrias, forja, horno, lavado,...), con una gran precisión en la carburación del hierro, hornos de múltiples toberas y utilización de fundentes tipo anortita que producen una escoria magnética-fayalítica.

10.- La forja se perfecciona durante la Edad Media.

11.- Adelantos con el horno alto.

La evolución tecnológica también está íntimamente relacionada con la evolución en los procesos de extracción de minerales. Así, cuando comenzó a crecer la necesidad de metales, al escasear los nativos, comenzó la explotación de los afloramientos de masas y filones mediante laboreo subterráneo hasta donde permitía el desagüe y la ventilación y, en ocasiones, recurriendo al trabajo de esclavos.

Los yacimientos inicialmente explotados fueron los superficiales, ostensibles, originados por ejemplo, por la acción natural de los agentes atmosféricos sobre las rocas. [35] Sin embargo, en la Edad del bronce ya se había pasado a la minería subterránea, profundizando las vetas o filones que afloraban, realizando un laboreo incipiente.

En la extracción del mineral había que fracturar la roca encajante, y para ello calentaban prolongadamente parte de la roca lanzándole rápidamente agua. Así, provocaban un gran choque térmico, que producía la fractura de la roca y la obtención de pedazos de mineral de hierro que podían ser fácilmente transportados. [50]

Una de las mayores dificultades de este proceso estaría en localizar la fuga de la roca, de manera que el calor pudiese calentar directamente la roca, y para ello tenía que provocar una cavidad en la misma. Además, el control del calentamiento necesitaba de la existencia de vientos favorables, así como de una gran acumulación de madera seca. Otra dificultad añadida, se encontraría en la construcción de una conducción de agua que fuese capaz de lanzar gran cantidad de agua sobre la roca en un corto espacio de tiempo. Esto lo resolvieron construyendo una presa a un nivel superior al de extracción y con una conducción hasta la mina mediante canales.

La circulación y ventilación de humos, procedentes del calentamiento, y del vapor de agua, generado durante el enfriamiento, fue un problema más que se resolvió con la construcción de unas cámaras de ventilación o conducciones de humos al exterior. En la operación de extracción, se utilizaba como instrumentos de trabajo martillos pequeños y afilados destinados para rocas frágiles y tierras sueltas, mientras que para rocas más duras era necesario emplear cuñas y cinceles de hierro. Una vez que habían extraído el mineral de la roca encajante, había que separar la ganga de la mena. Así, la separación de la ganga del mineral se realizaba utilizando un criterio puramente visual; color, brillo, densidad, etc.

27. MOHEN, J-P.: " Prehistoric metallurgy. Introducción a la paleometalurgia". Ed. Masson, S.A. París. (1920).
28. FORBES, R. J.: "Historia de la técnica". Fondo de cultura económica. México - Buenos Aires. (1958).
29. DERRY, T. K. y WILLIAMS, T. I.: "Historia de la tecnología. Desde la antigüedad hasta 1750". Siglo XXI de España editores S.A. Madrid. (1960). pp: 176- 187.
30. FORBES, R. J.: " Tecnología Mesopotámica y Egipcia". Historia de la Tecnología. La técnica en Occidente de la prehistoria a 1900. Kranzberg Melvin and Pursell Carroll W. Jr. editors. Volumen 1. (1960). pp: 52 -55.
31. MARTÍN, G.: "Materiales romanos de las colecciones del museo de prehistoria de Valencia (Antiguos fondos, I)". Estudios de Arqueología Ibérica y romana. Homenaje a Enrique Plá Ballester. Servicio de investigación prehistórica. Series de trabajos varios. Num 89. Diputación provincial de Valencia. Valencia. (1992). pp: 411- 437.
32. FERNÁNDEZ GÓMEZ, F.: " El ajuar de la tumba de un lañador romano en el museo arqueológico de Sevilla". Museum. Junio 1982. París. (1982). pp: 71-73.
33. CALVO, F. A.: "La España de los metales: Notas para una historia". CENIM. Patronato Juan de la Cierva de Investigación científica y técnica. Madrid. (1964)
34. CANSECO, A.: "Historia de la enseñanza de la minería". Arqueología e historia de la minería y metalurgia. Museo histórico minero Don Felipe de Borbón y Grecia. Escuela técnica superior de ingenieros de minas de Madrid. Madrid. (1996). pp: 11- 25.
35. CALVO, F.: " La metalurgia desde su historia". Ed. PAS. Madrid. (1970).
36. PARRILLA, F.: "Notas sobre el desarrollo de la metalurgia". Arqueología e historia de la minería y metalurgia. Museo histórico minero Don Felipe de Borbón y Grecia. Escuela técnica superior de ingenieros de minas de Madrid. Madrid. (1996). pp: 43- 57.
37. SNODGRASS, A. M.: "Iron and Early metallurgy in the mediterranean". The coming of the Age of Iron. Wertime, T. A. and Muhly, J. D. New Haven and London Yale University press. (1980). pp: 335- 373.
38. MOHEN, J-P.: "La metallurgie du fer". Capítulo 3:" Contexte métallurgique, description des objets de métal", del libro L' Age du fer en Aquitaine. Mémoires de la société préhistorique française. Tome 14. París. (1980). pp: 35-48.
39. GONZALEZ TASCÓN I. Fabricas hidráulicas españolas. Ministerio de Obras públicas y transportes. Biblioteca CEHOPU. Capítulo 3. 1992.
40. WALDBAUM, J. C.: "The first archaeological appearance of iron and the transition to the Iron Age". The coming of the Age of Iron. Wertime, T. A. and Muhly, J. D. New Haven and London Yale University press. (1980). pp: 82- 91.
41. Calvo Rodes.
42. MANGIN, M. y BIRKE, W.: "Le fer en Bourgogne: Mines, ferriers, fourneaux dans le Morvan septentrional a l'epoque romaine". Actas del coloquio internacional "Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas". Ministerio de cultura. Madrid. (1989). pp: 119-135.
43. PLEINER, R.: "Lovosice: A romano-barbarian iron smelting plant in northern Bohemia". Actas del coloquio internacional "Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas". Volumen I. Ministerio de cultura. Madrid. (1989). pp: 137-140.
44. KILLICK, D.: "Iron smelting in natural- draft furnaces". JOM. April. (1991). pp:62 – 64.
45. TYLECOTE, R. F.: "Furnaces, crucibles and slags". The coming of the Age of Iron. Wertime, T. A. and Muhly, J. D. New Haven and London Yale University press. (1980). pp: 208- 221.

46. THOUVENIN, A.: "Lingots de fer gaulois et techniques de forge". Revue Archéologique de l'est et du centre-est. Tome XXV. Fasc. 3-4. Números 137-138. Dijon. (1984). pp: 368-372.
47. TYLECOTE, R. F.: "Metallurgy in Archaeology". Edward Arnold (publishers) LTD. London. (1962)
48. WHEELER, T. S. y MADDIN, R.: "Metallurgy and the ancient man". The coming of the Age of Iron. Wertime, T. A. and Muhly, J. D. New Haven and London Yale University press. (1980). pp: 112- 125.
49. MADRÓNERO DE LA CAL, A. y AGREDA SUECUN, M^a. N. I.: "Los hierros de la España prerromana". Actas del coloquio internacional "Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas". Volumen I. Ministerio de cultura. Madrid. (1989). pp: 109-118.
50. CAVALHEIRO, J.: "O ferro na antiguidade". Arqueología. Número 19. Porto. (1989). pp: 124-132.

8. *Fig. : Horno de Cazoleta*
9. *Fig. : Esquema de hornos de chimenea.*
10. *Fig. : Proceso de fabricación de piezas de hierro a partir de sus materias primas.*

2.2.2. Metales y Aleaciones.

2.2.2.1. HIERRO Y ACERO

El hierro es un metal de color blanco plateado con una temperatura de fusión de 1539 °C [41].

No se presenta en estado nativo en la naturaleza, y solamente los hierros meteóricos se presentan en forma de inmediata utilización. Fuera de este caso, el hierro se presenta como constituyente en minerales, formando compuestos químicos, siendo los más abundantes los óxidos y carbonatos [51].

Los minerales de hierro más utilizados industrialmente fueron:

- ? Óxido ferroso férrico o magnetita (Fe_3O_4); También llamado óxido magnético, por presentar esta propiedad; se presenta en bloques amorfos de color negro o negro verdoso y de brillo más o menos metálico; en polvo es marrón oscuro, casi negro y muy pesado. Se denomina magnetita cuando se presenta cristalizado.
- ? Óxido férrico anhidro; Se presenta en masas compactas de color rojo oscuro, y recibe el nombre de hematites rojas. El hierro contenido responde a la fórmula Fe_2O_3 , y contiene, aproximadamente, un 69% en hierro cuando son puras. Este mineral es muy apreciado por la inexistencia en su composición de fósforo y azufre (elementos indeseables en los aceros, ya que el fósforo fragiliza y el azufre disminuye la fragilidad). En el caso de contener estos elementos, es en muy pequeñas cantidades.
- ? Óxido férrico hidratado; Contiene agua combinada en su molécula y alcanza una riqueza de un 52% en hierro cuando se halla en estado puro. La forma en que se presenta es en masas pardas, más o menos oscuras, y polvo parduzco, denominadas hematites pardas. Son más fáciles de reducir que las rojas, debido al agua de hidratación, que es capaz de desprenderse por el efecto térmico en el proceso de reducción, confiriéndoles una porosidad que aumenta la superficie activa, para que pueda actuar el agente reductor. Son en cambio, menos ricas y de menor pureza.
- ? Carbonato; Es un mineral muy apreciado por su pureza y su fácil reducción. Se presenta en láminas cristalinas de color amarillento y polvo blanco amarillento, recibiendo el nombre de siderita. Su riqueza es de un 48% en hierro.
- ? Sulfuro; El mineral con altos contenidos en hierro más abundante. Es la llamada piritita cúbica, que se emplea para la fabricación de ácido sulfúrico, tostando

previamente las piritas para que se desprenda el azufre en forma de anhídrido sulfuroso, y transformándose en Fe_2O_3 , que es el que se utiliza como mineral.

El hierro tiene, según la temperatura, diferentes sistemas de cristalización [52]; el hierro α , donde los átomos se disponen según una red cúbica centrada de parámetro de red 2.860 Å que es estable hasta los 912 °C. Entre 912 y 1392 °C los átomos ocupan los vértices y el centro de las caras del cubo, en este caso se denomina hierro γ de parámetro de red 3.59 Å. Entre 1392 y 1536 °C el hierro vuelve a tener la primera estructura y se le conoce entonces como hierro δ .

A temperaturas inferiores a 768 °C el hierro es magnético, al hierro no magnético de red cúbica centrada, se denomina hierro β .

La asociación de hierro con elementos como el carbono, producen aleaciones denominadas aceros con menos de un 1.8% en C y fundiciones con % en C superiores al 2% contribuyen a hacer más interesantes las propiedades del hierro.

En la figura 11 se muestra el diagrama de equilibrio hierro – carbono. El diagrama muestra la composición de fases y la estructura de las aleaciones con concentraciones variables de carbono desde el hierro puro (0 %C) hasta la cementita (6.67 %C).

La solución sólida de carbono en el hierro α se denomina ferrita [53]. Está constituida por el hierro α que no encierra más que trazas de carbono (0.006 % a temperatura ambiente); es relativamente blanda (80 HB), poco resistente ($R = 300$ MPa), pero muy dúctil y muy tenaz. Su densidad es de 7.86 Kg/dm³. Los reactivos, de ataque metalográfico habituales no la colorean, pero revelan los límites de sus granos, por ser estas pequeñas zonas de alta energía con comportamiento anódico, frente a las grandes áreas ocupadas por el grano de comportamiento catódico.

La solución sólida de carbono en el hierro γ se llama austenita. La austenita posee una alta plasticidad, bajos límites de fluencia y rotura.

El hierro con el carbono forma también una combinación química, el carburo de hierro Fe_3C , llamado cementita. El contenido de carbono en la cementita es de 6.67 %.

La cementita posee una red cristalina ortorrómbica compleja con empaquetamiento compacto de los átomos. La temperatura de fusión de la cementita no se ha podido establecer con exactitud. A una temperatura inferior a los 217 °C la cementita es ferromagnética. Las particularidades características de la cementita son una gran dureza (1000 HB) y baja plasticidad. Esta combinación es muy dura, pero frágil; su densidad es de 7.82 Kg/dm³. No es coloreada más que por el picrato sódico en

ebullición. El Nital ($\text{HNO}_3 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) medio de ataque típico utilizado para revelar la estructura de los aceros, no le ataca y, por lo tanto, aparece blanca.

La cementita en el acero es una fase metaestable. En las condiciones de equilibrio en las aleaciones con alto contenido de carbono se forma grafito, fomentada su aparición si además de carbono e hierro, la aleación contiene % en silicio superiores al 2%.

Las singularidades del diagrama del acero (Fig. 11) son:

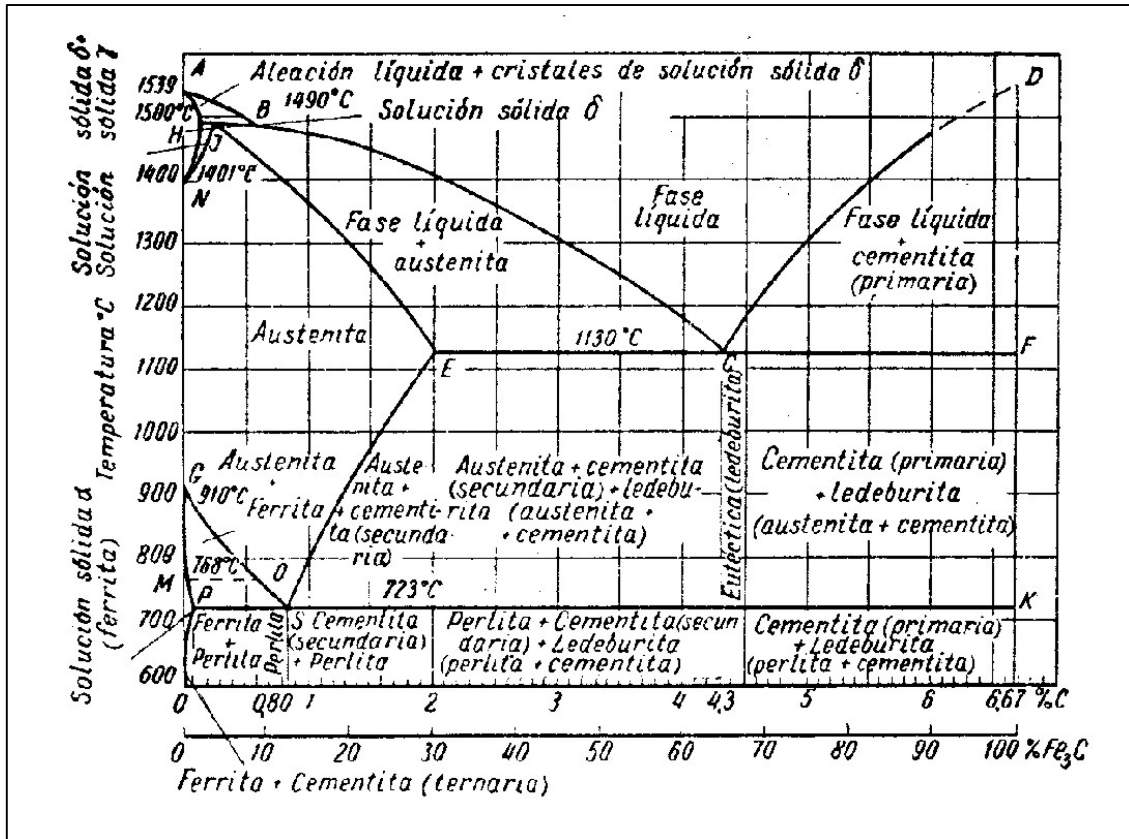


Fig. 11: Diagrama de equilibrio Fe - C.

A 0 %C y 1539 °C, se corresponde la temperatura de fusión del hierro puro.

A 6.67 %C y ~ 1550 °C, le corresponde la temperatura de fusión de la cementita Fe_3C .

A 0 %C y temperaturas de 1401 °C y 910 °C se atribuyen las transformaciones alotrópicas del hierro a en hierro ?.

La solubilidad límite del carbono en hierro ? se presenta a la temperatura de 1130 °C y 2 en %C.

Las transformaciones de fases que se dan en el diagrama son:

Como resultado de la transformación peritética (punto J), $L + d \rightarrow a$ ($T = 1490 \text{ °C}$), se forma la austenita.

En el punto C a 1130 °C ($L \rightarrow \delta + Fe_3C$) y una concentración de carbono de 4.3 %, la aleación líquida cristaliza simultáneamente la austenita y la cementita, formando un eutéctico denominado ledeburita.

En el punto S a 723 °C ($\delta \rightarrow a + Fe_3C$) y una concentración de carbono del 0.8%, se indica la temperatura mínima de la existencia en equilibrio de austenita durante el enfriamiento (transformación eutectoide).

Cuando se alcanzan los 723 °C se produce la descomposición de la austenita con la formación de una mezcla eutectoide denominada perlita. El eutectoide se obtiene como resultado de la precipitación simultánea de partículas de ferrita y cementita de la austenita. Este eutectoide se presenta generalmente bajo forma laminar; cada grano está formado de laminillas alternadas de ferrita y cementita cuyo espesor y separación dependen de la velocidad de enfriamiento. La perlita es dura (200 HB), resistente ($R = 850 \text{ MPa}$) y dúctil. Es coloreada por los reactivos habituales ácidos, utilizados en el ataque metalográfico de aceros, apareciendo la cementita en color gris claro.

2.2.2.2. COBRE Y BRONCE

El cobre posee una red cristalina cúbica centrada en las caras con un parámetro de red de 3.607 Å. La temperatura de fusión es de 1083 °C. Tiene una densidad de 8.94 g/cm³.

Las propiedades más importantes del cobre son su alta conductibilidad eléctrica y conductibilidad térmica. Como resultado de su alta plasticidad, el cobre se deforma fácilmente en caliente y en frío.

Los principales minerales de cobre son [51]:

- ? Sulfuros; Simples de cobre como la calcosina, Cu_2S , que cristaliza en el sistema rómbico, en el caso de formarse a baja temperatura, o en el cúbico si aparece como un producto de procesos metalúrgicos de solidificación.

También hay sulfuros compuestos de cobre y hierro como; la calcopirita ($FeCuS_2$) y la bornita ($FeCu_5S_4$). La primera cristaliza en el sistema tetragonal, mientras que la segunda lo hace en el sistema cúbico. Y sulfuros compuestos de cobre y arsénico como la enargita ($AsCu_3S_4$), que cristaliza en el sistema rómbico.

- ? Sulfatos; denominados vitrolos de forma general y de forma particular del cobre, calcantita ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), que cristaliza en el sistema triclinico y presenta coloración azulada, con brillo vítreo.

Además, existen sulfatos anhidros con aniones extraños (como grupos hidroxilos) denominándose el mineral brochantita, $\text{Cu}_4(\text{SO}_4(\text{OH})_6)$, en este caso de color verde y brillo vítreo, con sistema cristalino monoclinico.

? Carbonatos; como la malaquita, $\text{Cu}_4(\text{CO}_3(\text{OH})_2)$, que cristaliza en el sistema monoclinico y cuyos agregados tienen un color verde esmeralda y brillo sedoso.

Un bronce es una aleación cobre (Cu) y estaño (Sn). Su diagrama de equilibrio se muestra en la figura 12 [53].

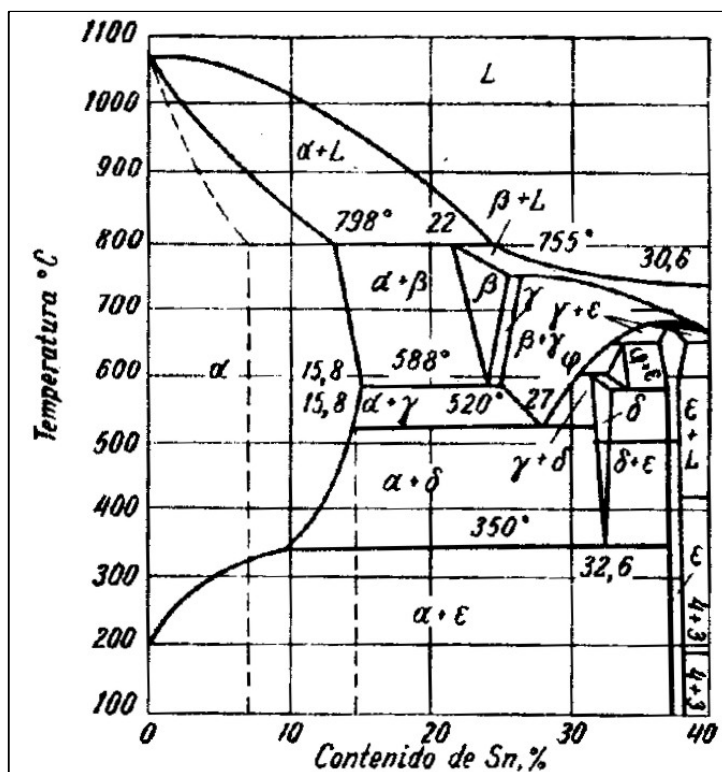


Fig. 12: Diagrama de equilibrio Cu – Sn.

En este sistema la fase ? se corresponde con una solución sólida de estaño en cobre. Se presenta en una red cúbica de caras centradas cuyo parámetro de celda varía entre 3.608 y 3.693 Å, para contenidos en estaño del 0 al 14%.

Las fases ? (Cu_5Sn) y ?, son estructuras de redes cúbicas centradas en el cuerpo, donde el parámetro de red crece con el contenido en estaño. La fase ? forma una red cúbica compleja de $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

Como se puede observar en el diagrama, el sistema cobre – estaño tiene una serie de transformaciones peritéticas, transformaciones de tipo eutectoides y peritectoides. A 588 °C los cristales de la fase ? experimentan una transformación eutectoide con la

formación de una mezcla de fase α y fase β ; a 520 °C los cristales de la solución sólida β se transforman mediante reacción eutectoide en una mezcla de fase α y fase β [54].

A una temperatura cercana a 350 °C la fase β se transforma en solución sólida α y fase β (Cu_3Sn) por transformación eutectoide.

Los bronce, que contienen hasta un 4 – 5 % de estaño, representan una solución sólida α y son monofásicas. Los bronce con un gran contenido de estaño resultan, desde el punto de vista de su aplicación, muy costosos dadas las propiedades no elevadas que presentan y son sustituidos por los de menos costo a los cuales se agrega zinc y plomo. Esto permite disminuir el contenido de estaño. El plomo, además, mejora el mecanizado por corte.

A los bronce se les agrega también pequeñas cantidades de fósforo (hasta 1%) que mejora las propiedades mecánicas y de antifricción.

2.2.3. Forja.

2.2.3.1. GENERALIDADES.

La forja [55] es un procedimiento de conformación de los materiales metálicos, que se realiza sometiéndoles a esfuerzos violentos de compresión repetidos o continuos, una vez calentados a temperaturas superiores a la de recristalización, pero inferiores a la de fusión. A estas temperaturas no sólo pueden darse a los metales grandes deformaciones con pequeños esfuerzos, sino que la magnitud de la deformación es prácticamente ilimitada, sin que se produzca nunca acritud.

Con la forja se realizan dos clases de trabajos:

- ? Piezas acabadas, a las que por forja se les da su forma definitiva.
- ? Piezas de desbaste, a las que por forja se les da una forma aproximada a la definitiva, y se terminan por mecanizado.

2.2.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.

Con la forja se logra una positiva mejora en las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, como consecuencia del afino del grano, de la orientación de la fibra y de la disminución de las sopladuras y segregaciones dendríticas.

41. Calvo Rodes. El acero su elección y seleccion Madrid. INTA 1956 435-441

51. Klock

52. *"Metalurgia prehistorica. Introducción a la paleometalurgia"*. J. P. MOHEN. Ed. Masson. (1992).

53. "Metalotecnia", V. Blázquez, P. Cobo, R. Gamboa, J. A. Puebla, A. Varela, Ed. ETSII. UPM, (1988).

54. *"Metalografía y tratamiento térmico de los metales"*, Y. M. Lajtin, Ed. MIR, (1977).

55. *"Tecnología mecánica y metrotécnica"*. M. ARIAS. J. M. LACERAS. Ed. CEDEL. (1965). pp: 197-218.

11. Fig. : Diagrama de equilibrio Fe - C.

12. Fig. : Diagrama de equilibrio Cu – Sn.

? Afino de Grano

Si la forja se realiza a golpes y a temperaturas adecuadas se produce el afino del grano de los metales por trituración del mismo y reconstrucción inmediata en tamaño menor. Este afino es tanto mayor cuanto más baja sea la temperatura de forja, siempre que no descienda de la de recristalización, y cuanto más energéticamente se golpee el metal [55].

También se obtienen distintos efectos con golpes fuertes y espaciados que con golpes suaves y rápidos. En el primer caso es el núcleo de la pieza el más afectado, y en el segundo la zona superficial.

La forja, es decir, el martillado del metal, debe continuarse mientras no descienda la temperatura de la recristalización pues, si se interrumpiese antes comenzaría el crecimiento del grano a partir de este momento [55].

? Orientación de la Fibra

La fibra que se produce en la forja por aplastamiento y alargamiento de las inclusiones e impurezas que contienen los metales, hace variar sus propiedades mecánicas, mejorándolas en la dirección de la fibra y empeorándolas en la dirección perpendicular. Esto se debe a que en las secciones del metal perpendiculares a la dirección de la fibra hay un porcentaje de impurezas inferior al que había antes de la forja, en cambio, en las secciones paralelas a la dirección de la fibra el porcentaje es superior. Así en los metales con muchas impurezas, debe orientarse la fibra de manera que coincida con la dirección de los máximos esfuerzos. Además, hay que tener en cuenta que no deberá extremarse el coeficiente de forja, S_o/S_f , es decir, la relación entre la sección inicial S_o y la sección forjada S_f [55].

? Disminución de las Sopladuras y Segregaciones dendríticas.

Como la forja produce un aplastamiento de la masa del metal, las cavidades que contienen defectos de solidificación, denominadas sopladuras (también venteaduras), quedan también aplastadas y soldadas si sus paredes están limpias y no oxidadas, al ponerse en contacto íntimo a temperaturas elevadas, lo cual hace que desaparezcan. Esta soldadura es muchas veces perfecta, pues los granos de las paredes al recristalizar crecen y lo hacen entre caras de las sopladuras.

Por otra parte, las segregaciones dendríticas, por efecto combinado de la alta temperatura y de la forja, disminuyen, mejorando la homogeneidad del metal.

? Tratamientos Superficiales.

Las propiedades mecánicas de los metales se ven mejoradas cuando se les somete a un proceso de cementación. La cementación consiste en aumentar el contenido en carbono en la superficie de las piezas de acero, rodeándolas con un medio carburante, y manteniendo todo el conjunto durante un cierto tiempo a elevada temperatura. La pieza después de cementada se puede considerar compuesta por dos zonas principales de composición química diferente; el alma o núcleo central y la periférica o capa cementada, existiendo entre ellas otra tercera zona de transición de menor contenido en carbono (0.9%C hasta 0.3%C) [55].

Se utilizaban diversas materias para suministrar el carbono que debía absorber el acero durante la cementación. Las más empleadas solían ser el carbón vegetal, el negro animal, huesos calcinados, cuero, etc...

2.2.3.3. METALES Y ALEACIONES FORJABLES.

En general, todos los metales son más o menos forjables, puesto que la propiedad primordial que deben reunir los materiales para poder ser conformados por forja es la plasticidad, que es una propiedad típicamente metálica.

A veces, una aleación contiene elementos no forjables a temperatura ambiente, como ocurre con el acero que está compuesto de ferrita y perlita (aceros hipoeutectoides) o por perlita y cementita (aceros hipereutectoides), debido a que la cementita es un compuesto químico (Fe_3C) no plástico y no forjable, al igual que no lo es la perlita compuesta por 86.5% de ferrita y 13.5% de cementita. Sólo sería forjable a temperatura ambiente la ferrita y en parte la perlita. Pero, como a las temperaturas de forja los constituyentes citados (ferrita, perlita y cementita) se transforman en austenita, forjable, todos los aceros al carbono lo son.

2.2.3.4. CICLO TÉRMICO.

La conformación por forja era realizada en tres fases:

- ? Calentamiento del metal a la temperatura de la forja (acción térmica).
- ? Operaciones de forja propiamente dichas (acción mecánica).
- ? Enfriamiento del metal a la temperatura ambiente.

Por tanto, en la forja se desarrolla un verdadero ciclo térmico en el que debe definirse: la forma de realizar el calentamiento, la temperatura máxima que debe alcanzarse, o sea, la temperatura de forja y la forma de realizar el enfriamiento.

La elevación de temperatura en la etapa de calentamiento de los metales debe hacerse lo más suavemente posible, pues si se calienta bruscamente, se establece una gran diferencia de temperatura entre la periferia y el núcleo debido a las variaciones volumétricas de las redes α y γ , y, por tanto, una gran diferencia de dilatación de ambas zonas, que se traduce en tensiones residuales que permanecen hasta el enfriamiento total traduciéndose en la aparición de grietas.

La etapa de enfriamiento del metal, durante la cual se pueden dar tratamientos térmicos, va a influir en las propiedades y características finales de las piezas forjadas. Los tratamientos térmicos más usados eran: Recocidos, normalizados y cementaciones [56].

El recocido tiene por objeto ablandar el acero, regenerar estructuras o eliminar tensiones internas. Consiste en calentar a temperaturas de austenización, para conseguir una estructura, seguidas de enfriamientos lentos

.

- ✍ Si se sobrepasa la temperatura crítica superior y se enfría muy lentamente, el acero se ablanda y se regenera su estructura.
- ✍ Si no se sobrepasa la temperatura crítica superior, pero sí la inferior, y se enfría lentamente se obtienen estructuras de poca dureza y con una estructura favorable para el mecanizado (recocido globular).
- ✍ Si no se sobrepasa la temperatura crítica inferior, se eliminan las tensiones del material y se aumenta su ductilidad.

El normalizado consiste en un calentamiento por encima de la temperatura crítica superior, seguido de un enfriamiento lento. De esta forma, se deja al acero con una estructura y propiedades que se consideran como normales y características de su composición. Se suele utilizar para piezas que han sufrido trabajos en caliente, trabajos en frío, enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos. Se eliminan tensiones internas y se uniformiza el tamaño de grano.

2.2.3.5. HERRAMIENTAS Y/O UTILLAJE DEL PROCESO.

La **fragua** es el área dentro del taller destinada a realizar las labores de forja, y en particular, el lugar donde se calienta el hierro [57].

El **yunque** (Fig. 13) está conformado por un bloque de hierro, de unos 130 - 150 kilogramos de peso, al que se le suele soldar en la parte superior un hierro acerado. Se sitúa sobre una base de madera para que vibre menos, y los golpes que resuenen más débiles, ya que el yunque es el instrumento base donde se forja el hierro golpeándolo con los machos o martillos.

Sus zonas más importantes son dos, la Mesa, la parte superior de forma rectangular, y las Bigornias, que son los picos salientes a los laterales y pueden tener forma cuadrada (piramidal) o redonda (cónica). Además posee dos orificios, uno redondo en la peña cuadrada y otro cuadrado en la peña redonda, que sirven para colocar algunos instrumentos utilizados durante el proceso o dar manejabilidad a ciertos trabajos de forja.

Un yunque de menor tamaño y de forma variada, es conocido como **tas** (Fig. 14). Suele ser utilizado para trabajar las chapas de hierro o para redondear ciertas superficies.

Según los trabajos a realizar el forjador usa una variada gama de instrumentos que se adaptan mejor a cada tipo de forja, y que se conocen como las herramientas del forjador.

El **martillo** (Fig. 15) es una herramienta de mango que se usa con una sola mano. Si se usan las dos manos, el martillo recibe el nombre de **mallo**. Se conocen tres variedades de martillos: De bola, cuya boca tiene forma semiesférica y su peso se aproxima a cerca de un kilogramo: De brazos, que se estrecha en los laterales, terminando en sus extremos en dos engrosamientos de forma redondeada: De peña, con forma de prisma trigonal, redondeado en una parte y con terminación en vértice de cono en la parte opuesta. Comúnmente, la parte inferior de estos martillos se les suele denominar caras y las partes opuestas bocas; en todos los casos la parte ancha

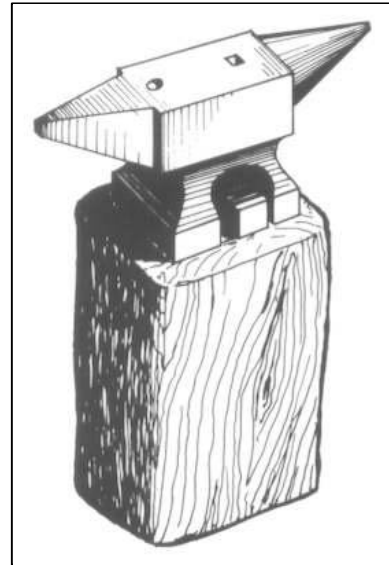


Fig. 13: Yunque, instrumento base del proceso de forja.

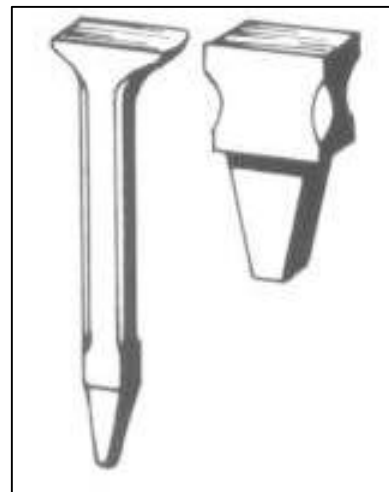


Fig. 14: Tas, yunque de dimensiones reducidas, utilizado en forja.

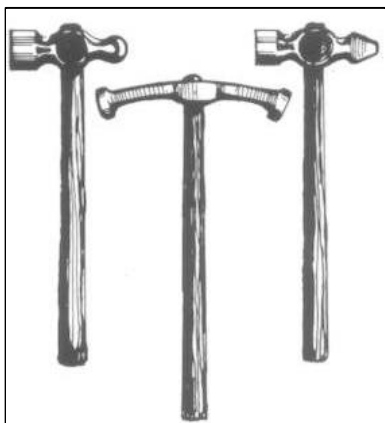


Fig. 15: Martillos, tres de las variedades más utilizadas en forja.

recibe el nombre de tabla, y se usa en general para trabajos de aplanamiento, mientras que la parte estrecha se la suele usar para el estirado.

El **macho** (Fig. 16) es un martillo grueso y pesado (9 - 10 kilogramos), y cuyo astil es bastante alargado y de madera. Se usa sobre todo para cortar, estirar, reducir el grosor y estampar hierro, aunque también para batir fuertemente el hierro sobre el yunque.

Las herramientas más utilizadas en el corte del hierro son:

Para el corte de barras calientes se utiliza una **tajadera** (Fig. 17), que es un instrumento similar al martillo con la diferencia de que uno de los bordes es cortante. Existen dos tipos; una De mano, con una de sus partes cortantes y la otra plana, disponiendo en su parte central de un agujero en el que se mete el mango, y otra De yunque, que posee una especie de pico que sirve para abrir agujeros en las aberturas del yunque, y no posee mango.



Fig. 16: Macho, martillo de mayores dimensiones, utilizado en forja.

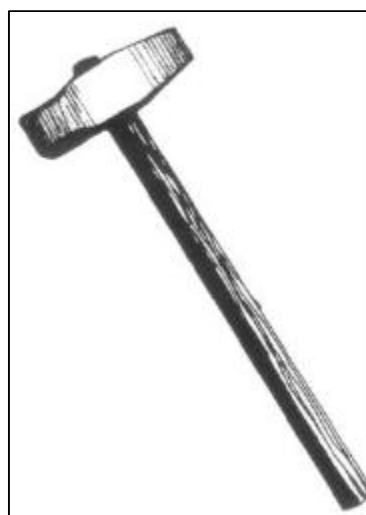


Fig. 17: Tajadera. Herramienta utilizada en el proceso de corte durante la forja.

Un útil semejante a la tajadera es el **cortafríos**. Este sirve como su nombre indica, para cortar piezas metálicas en frío. La diferencia fundamental con la tajadera se encuentra en que el ángulo del borde cortante es más amplio en el cortafríos,

precisamente para evitar que se melle. Es usado para los trabajos de cerrajería y para dar perfiles variados a hierros de poco grosor.

Suele también llamarse al cortafíos, **cincel** plano. Si se estrechase en unos cinco o diez centímetros, se le denomina **buril**, y si el filo tuviese forma semicircular o de media caña, recibe el nombre de **gubia**.

El **puntero** es una herramienta acerada con una punta en forma cónica que sirve para cortar, y otra parte plana donde se golpea por el corte, tanto con el martillo como con machos. Suele usarse sobre todo para abrir orificios en el hierro, en otros casos para ampliar otros agujeros ya hechos, y a veces simplemente para puntear los metales, con el fin de producir sobre la superficie del hierro adornos y resaltes.

El **punzón** es un instrumento de hierro acerado de 20 a 25 centímetros de longitud que se golpea con el martillo. Se trata de una pieza que es muy usada en trabajos de cerrajería, en labores de chapa de poco grosor y para perfilar hierros no muy gruesos.

En las tareas de estampación son utilizados otros tipos de herramientas:

El **martillo de degüello** (Fig. 18) es una herramienta similar al cortafíos y la tajadera, con la diferencia de que posee un borde aguzado pero redondeado. La zona superior es plana y es la parte en la que se golpea con el martillo. Sirve en la mayoría de los casos para realizar escotaduras en las piezas metálicas. Aunque existe una gran variedad de degüellos, todos, en general, se utilizan para degollar el hierro, esto es, adelgazar los perfiles que se deseen.

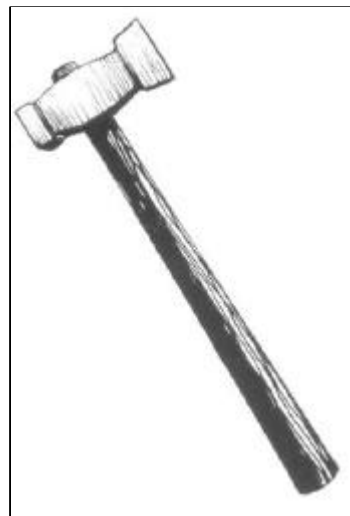


Fig. 18: Martillo de degüello. Herramienta utilizada en la estampación adelgazando perfiles

Las **planas**, o **asentadores** (Fig. 19), sirven para reparar los salientes y entrantes que quedan en el hierro ya forjado. Como en otros casos, existen varios tipos de planas, aunque sobre todo se usan las de yunque, que se adaptan al agujero cuadrado del yunque y la de mano, que lógicamente dispone de mango y la zona superior es plana para recibir golpes de martillo o macho.

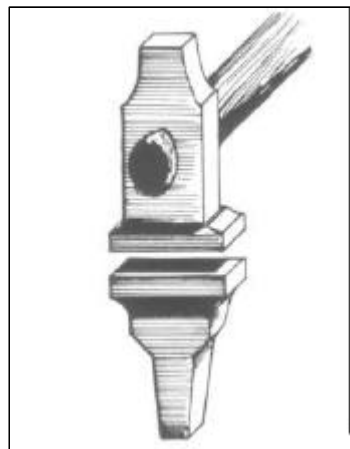


Fig. 19: Plana. Herramienta de estampación que repara entrantes y salientes.

Semejante a la plana, una herramienta que sirve para

rebajar el material en ángulo recto golpeándolo en su parte superior con el martillo, es el **destajador** (Fig. 20).

Las **estampas** (Fig. 21) son útiles que conjunta dos elementos, uno, la hembra, que se acopla al agujero cuadrado del yunque y otro, el macho, manejado por el forjador con su brazo para golpear sobre la hembra.

Por último, el proceso de forja además requiere de operaciones de torsión, y para ello se requieren herramientas específicas:

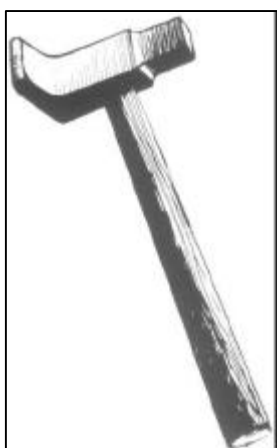


Fig. 20: Destajador.
Rebaja en material en
ángulo recto

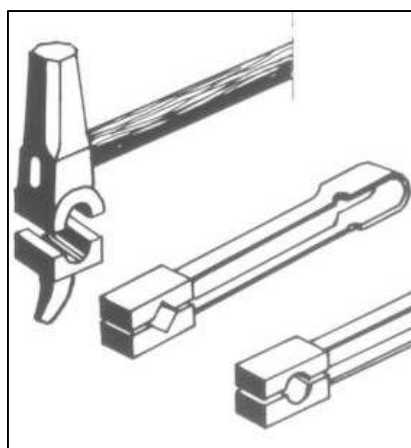


Fig. 21: Estampas.

Las **grifas** (Fig. 22), que son útiles que sirven al forjador para doblar, torcer, enderezar o retorcer el hierro que se está forjando. Existen, como en otros casos, grifas de mano o de yunque, según se desee realizar el forjado.

Para obtener espirales y volutas se utilizan los **camones** (Fig. 23), que se acoplan a los agujeros del yunque.

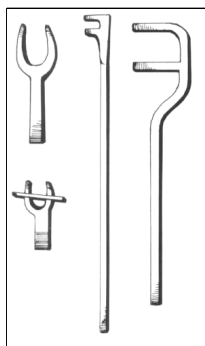


Fig. 22: Grifas,
herramientas que
permiten realizar
operaciones de torsión.

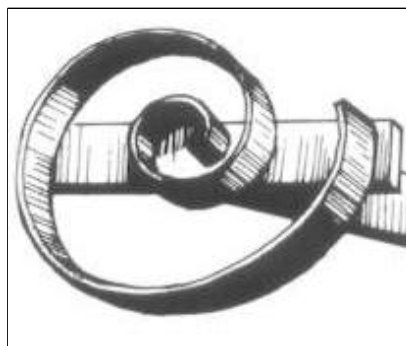


Fig. 23: Camones, con las que se
pueden obtener espirales.

Para terminar un objeto se utilizan, finalmente, las herramientas de retocado, que principalmente son las limas.

La **lima** es una herramienta de acero al carbono templado, que elimina las imperfecciones que quedaron en los trabajos forjados. Se componen de tres partes: el cuerpo (dientes), la espiga y el mango. Sus variedades vienen dadas por las características de su forma, su tamaño o su picado. Por lo que se refiere a su forma se subdividen, atendiendo a su sección, en cuadradas (limatón), triangulares, aplanadas y redondas, si la sección fuese pequeña y circular reciban el nombre de “cola de ratón”.

Otras herramientas usadas comúnmente en la forja son las **tenazas**, herramientas que son utilizadas en los casos en los que no es posible sostener con la mano las piezas a trabajar en la fragua. La boca se construye con labios planos, redondos o en ángulo, para que se adapte a las piezas que se trabajan y evitar de este modo que éstas puedan escapar por los lados.

Se denominan como **entallas**, a las herramientas que sirven para sujetar y sostener piezas pequeñas que se han de forjar.

Para cortar el material en frío se utiliza la **sierra**, herramienta constituida por un arco y una “hoja”.

2.2.3.6. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.

Las técnicas que normalmente emplea un forjador en los trabajos de forja, que realiza manualmente, son englobados dentro de los denominados procedimientos técnicos. Entre ellos los más comunes son el corte, estirado, recalado, ensanchado, afilado, retorcido, punzonado, doblado, rebajado y soldado.



Fig. 24: Procedimiento técnico de corte.

El **corte** (Fig. 24) es utilizado normalmente en la etapa de preparación de los materiales que se van a emplear en el proceso de forja.

El **estirado** (Fig. 25 a) se trata de una operación que se contrapone al recalado, ya que hace disminuir la sección transversal a la vez que la pieza aumenta de longitud. Se consigue el estirado colocando el material sobre la “peña” cónica del yunque y al golpearlo, como quiera que tiene poco punto de apoyo, lógicamente la pieza se estirará. Un tipo especial de estirado es el llamado degüello o degollado, que

se consigue disminuyendo grandemente las secciones de forma extrema.

El **recalcado** (Fig. 25 b) es la operación opuesta al estirado, pues con esta técnica se consigue engrosar la zona que interese de una barra, o proporcionar otra forma al hierro. Para realizar el recalcado se calienta la zona de material que se desea alterar, para posteriormente colocarla sobre el yunque o sobre el taco de recalcar, y golpearla a continuación en sus ejes. Para obtener un correcto resultado en este trabajo es básico el colocar la pieza totalmente vertical a la superficie donde se golpea.

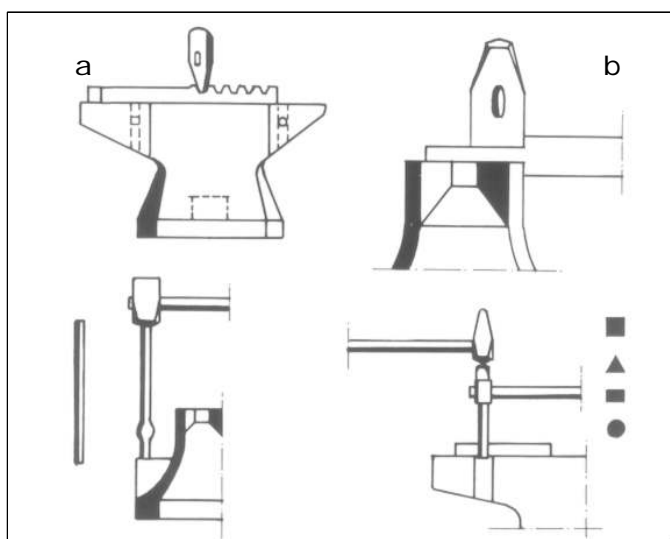


Fig. 25: Estirado (a) y Recalcado (b).

El **ensanchado** es, más bien, una forma de estirado que ofrece la particularidad de que una vez se hace crecer la pieza en longitud también se la hace crecer transversalmente. Por ello en lugar de colocar la barra o pieza en la “peña” cónica del yunque, se caldea en la mesa y se golpea no con la bola sino con la cara del martillo, para que por ambos lados se tenga un punto de apoyo ancho.

Cuando se desea **apuntar** una pieza, se calienta solamente la zona que se desee apuntar y, tras colocarla en el yunque, se la golpea con la cara del martillo, procurando siempre ajustarla bien a la base del yunque, golpeando alternativamente en las cuatro caras de la barra.

Para **afilarse** una pieza se procede exactamente como en el caso anterior, pero en vez de golpear sobre las cuatro caras de la barra, se realiza solamente sobre dos, intentando igualmente que coincida el extremo afilado de la barra con el centro del yunque, de este modo se consigue un filo a doble bisel.

En la antigüedad se han utilizado diversas técnicas en la fabricación de filos de armas [58]; mediante carburación, soldadura de acero o hierro, endurecimiento por trabajado en frío del tocho de hierro, etc.

Durante la época romana el método más utilizado fue el de la unión de hierro y acero mediante soldadura por forja. La masiva utilización de este método se debió, principalmente, a dos razones; los aceros endurecidos por deformación, son tanto más frágiles cuanto mayor es su dureza. Por ello, la introducción de hierro en la pieza le da un carácter de mayor tenacidad-ductilidad, y debido a que el acero era más costoso obtenerlo que el hierro, la introducción de este último abarataría su coste final.

Aún así, es posible encontrar cuatro métodos diferentes de fabricar filos de armas (Fig. 26):

- ? Afilando directamente al hierro (A), bien sea en una única lámina (A1) bien sea en un paquete de láminas (A2), al acero (F), o al hierro previamente forjado llamado hierro pudelado (D).
- ? Colocando una lámina de acero y recubriéndolo, en ambos lados, por láminas de hierro (B1), o bien varias capas de acero con la misma disposición (B2).
- ? Utilizando acero e hierro de forma que la de acero forme el filo. Esto se puede conseguir bien por capas (B3, B4) bien utilizando una punta de acero (C1, C2 y C3).
- ? Rodeando con acero un núcleo de hierro (E).

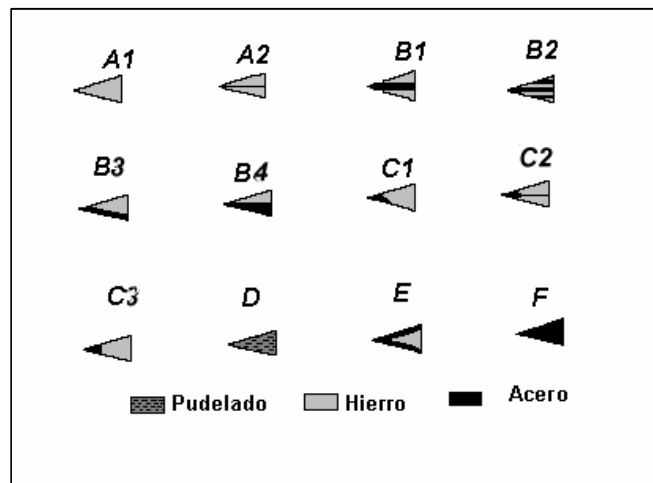


Fig. 26: Filos de herramientas, fabricados tanto en un único material como en combinación de varios.

Retorcer una pieza de hierro, implica un calentamiento previo de la zona que se desea retorcer. Como quiera que la deformación suele ser muy grande, es aconsejable el calentar bastante la zona. A continuación se sujeta la pieza por uno de sus extremos y se aplica a la sección un par de fuerzas. La operación consiste en girar el extremo opuesto, frío, mediante una grifa de mano o simplemente con la fuerza de la mano (Fig. 27). En muchos casos para que la parte más caliente no se retuerza incontroladamente, se echa agua (Fig. 28). Generalmente al sufrir la pieza una enorme

deformación debida al alto calentamiento, es aconsejable eliminar las tensiones de la pieza mediante algún tratamiento térmico posterior.

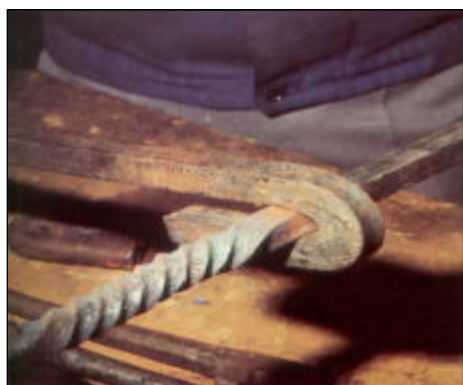


Fig. 27: Procedimiento técnico de torsión.



Fig. 28: Control del proceso de torsión mediante etapas de enfriado.

El **punzonado** (Fig. 29) consiste en realizar un orificio en una pieza determinada, para la que se monta el material, chapa, etc., sobre una “sufridera”, en el yunque o bien



Fig. 29: Procedimiento técnico de punzonado.

coincidente con uno de los ojos del mismo, golpeándolo posteriormente con un punzón de sección determinada, según el tipo de orificio que se necesite realizar. Es requisito indispensable en el trabajo del punzonado, el que el diámetro del punzón sea el doble, al menos, del espesor de la pieza que se desea punzonar. Normalmente el punzonado se realiza por las dos caras, esto es, se abrirá la mitad del espesor por una cara y la otra mitad por la cara opuesta. Es aconsejable en este trabajo de forja el añadir polvo de carbón para que la punta del punzón no se queme; si no es así, tiene que ser sometido a procesos de

enfriamiento (refrigeración) continuamente durante la realización del proceso o bien ser reemplazado por otro punzón ya que la fuerza aplicada en el punzonado es grande y puede partir fácilmente el útil.

Es el **ranurado** (Fig. 30) un trabajo similar al punzonado, diferenciándose únicamente en que ya no se trata de hacer orificios redondos sino alargados. La hendidura se realiza con la tajadera y se suele terminar el trabajo con un martillo, punzón o, a veces, con el mandril. La técnica del ranurado o hendido consiste en cortar el material en caliente empleando la tajadera y poniendo entre la pieza y el yunque una chapa que impida que el filo de la tajadera golpee la talla del yunque.

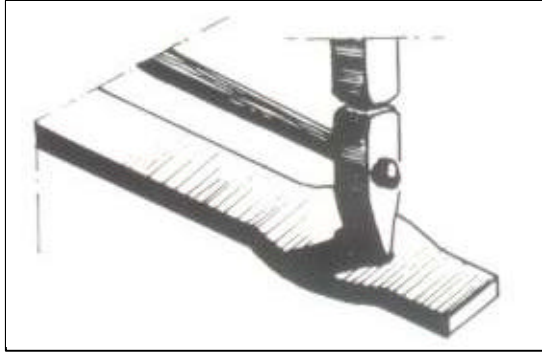


Fig. 30: Procedimiento técnico de ranurado.

Cuando se desea **doblar** una pieza (Fig. 31 a) se procede como en los casos anteriores, o sea, se calienta en primer lugar la zona que se desea doblar, fijándola fuertemente a la mesa del yunque de forma que, forme un ángulo recto con los cantos. Lógicamente la parte que se desea doblar saldrá fuera de la mesa, parte que recibirá los golpes de la cara del martillo. El doblado es de dos tipos: en arco, cuando se curva, y de canto vivo; en un caso y en otro unas “fibras” se prolongan y otras se comprimen. A la vez, ocurre que existen otras “fibras” que no se alargan pero si cambian sus formas. Es claro que para doblar en canto vivo se debe usar una bigornia cuadrada o bien el tornillo de banco, mientras que cuando se desea realizar una curvatura se debe emplear una bigornia redonda.

Después de calentar la zona extrema que se desea **curvar** se puede realizar este trabajo con la ayuda de tres instrumentos, principalmente (Fig. 31 b):

- ? con el camón: procurando, mediante pequeños golpes, adaptar la barra a la forma redonda del camón.
- ? con la grifa del yunque o con la de mano, apoyando fuertemente el material a la grifa y curvando con pequeños golpes la zona calentada del material.
- ? en la peña cónica del yunque, golpeando débilmente con la cara del martillo, procurando se adapte siempre poco a poco al cono del yunque.

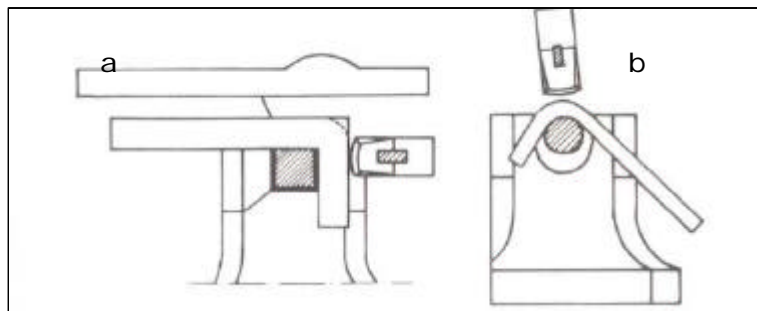


Fig. 31: Procedimientos técnicos de doblado (a) y curvado (b).

Tras calentar la zona que se desea **rebajar**, se golpeará esa parte con el martillo, para pasar a continuación a colocar en ella el destajador y golpear luego fuertemente con el macho. En este caso se dice que el rebajado es angular. Si se deseara realizar un rebajado curvo, se aplica primero un degüello para abrir una ranura y se opera a continuación exactamente igual que en el rebajado angular.

Para realizar el hierro cuadrado o plano sin debilitarlo, se emplea ordinariamente la técnica del **retorcido**. La pieza a retorcer se calienta en la fragua, a continuación se sujeta uno de los extremos en un tornillo de banco, el otro extremo se hace girar con el hierro de retorcer según su eje longitudinal. La distancia entre espiras se regula enfriando con agua el material en los lugares más calientes, que son los que se retuercen más deprisa.

Se emplea la técnica del **remachado** para unir piezas. Estas uniones se realizan mediante taladro de las piezas, empleando remaches hechos por el artesano.

Hay que tener en cuenta que el diámetro del remache no sobrepase $\frac{1}{3}$ del ancho del material.

Se entiende como **soldadura al fuego** la unión de dos o más piezas de hierro, donde las piezas a unir se calientan en la fragua por encima del rojo blanco, antes de que el material pase del estado pastoso al líquido. Cuando saltan, pequeñas partículas de hierro incandescente del lugar calentado, se ha alcanzado el “calor” de soldadura. A continuación, se llevan las piezas con rapidez al yunque, se superponen éstas y se unen dando primero golpes pausados y ligeros para terminar la unión con golpes enérgicos y rápidos. Para efectuar este tipo soldadura es necesario mantener sus superficies limpias, planas y pulimentadas, lo suficientemente próximas entre sí para que se forme una conexión metálica entre ellas, así se verán facilitadas las uniones atómicas [59].

La operación esencial es hacer presión sobre las dos piezas unidas en caliente deformando las superficies suficientemente para asegurar contacto parcial o completo y exponer el metal sin película de óxido.

Los factores importantes que entran en la mecánica y metalurgia de este proceso son deformación de superficie, dispersión de películas de superficie, difusión y recristalización [60].

La variable principal de la soldadura es la habilidad del herrero para mantener las superficies de la unión a una temperatura razonablemente uniforme antes y durante la operación de martillado. La unión debe tener dimensiones de manera que quepa

dentro del fuego de la forja y, por consiguiente, las placas de grandes dimensiones no pueden unirse entre sí por este método.

Las superficies de unión pueden tomar diferentes formas en función del objetivo que finalmente persiga la soldadura (Fig. 32).

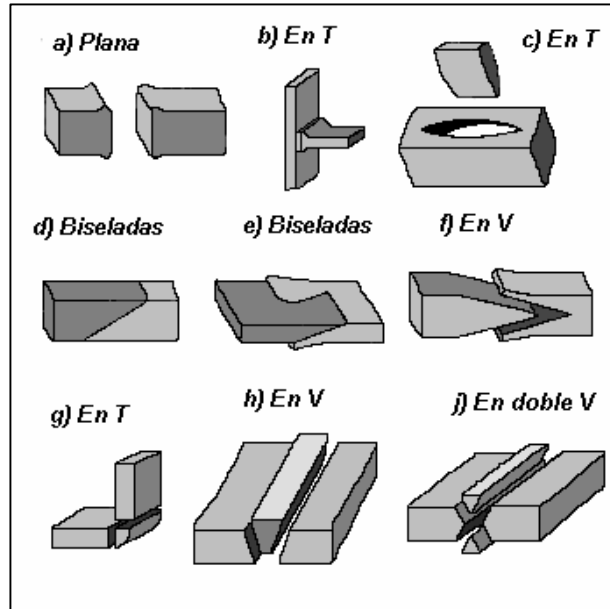


Fig. 32: Diseño de juntas, utilizado en procesos de soldadura al fuego.

Las etapas de la soldadura al fuego [59] son;

- ? Preparación de superficies a soldar.
- ? Calentamiento hasta 1200 – 1500 °C.
- ? Espolvoreo de arena silíceo cuyo objeto es facilitar la fusión de la escoria y eliminar el óxido.
- ? Colocación de piezas sobre el yunque y eliminación de escorias adheridas por cepillado.
- ? Unión de piezas mediante golpeado y calentamiento reiterativo.

- 13. Fig. : Yunque.
- 14. Fig. : Tas.
- 15. Fig. : Martillos.
- 16. Fig. : Macho.
- 17. Fig. : Tajadera.
- 18. Fig. : Martillo de degüello.
- 19. Fig. : Plana.
- 20. Fig. : Destajador.
- 21. Fig. : Estampas.
- 22. Fig. : Grifas.
- 23. Fig. : Camones.
- 24. Fig. : Corte.
- 25. Fig. : Estirado y Recalcado.
- 26. Fig. : Filos de herramientas.
- 27. Fig. : Torsión.
- 28. Fig. : Enfriado.
- 29. Fig. : Punzonado.
- 30. Fig. : Ranurado.
- 31. Fig. : Doblado y Curvado.
- 32. Fig. : Diseño de juntas.

- 55. "Tecnología mecánica y metrotécnica". M. ARIAS. J. M. LACERAS. Ed. CEDEL. (1965). pp: 197-218.
- 56. J. Apraiz. Tratamientos térmicos de aceros
- 57. "La forja en Palencia". F. NARGANES. Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia. Departamento de cultura. (1987).
- 58. "The metallography of early ferrous edge tools and edged weapons". R. F. TYLECOTE. B. J. GILMOUR. Ed. BAR British Series 155. (1986).
- 59. "The solid phase welding of metals". R. F. TYLECOTE. Ed. Edward Arnold. (1968). pp: 2- 17.
- 60. "Tratado de soldadura". J. F. LANCASTER. Ed. Tecnos. (1972).

2.3. YACIMIENTOS



Las villas romanas de La Olmeda y de La Tejada están distanciadas una de otra aproximadamente unos 30 kilómetros (Fig. 33). Situadas en tierra de campos palentina [61], ambas están acondicionadas para la visita, realizándose el recorrido de las diferentes estancias por pasarelas y/o puentes.

Fig. 33? Mapa de acceso a las villas romanas.

2.3.1. La Olmeda (Pedrosa de la Vega)

La villa romana de La Olmeda se encuentra situada en la margen derecha del río



Fig. 34? Plano de situación de las principales villas romanas de la provincia de Palencia.

Carrión [62], y al Oeste de la carretera general que va de Palencia a Saldaña, cerca del pueblo de Gañinas, en el término municipal de Pedrosa de la Vega (Fig. 34).

El descubrimiento de la villa tuvo lugar en el año 1968, por D. Javier Cortes, con motivo de la realización de unas labores agrícolas, al tropezar con restos de una vieja pared. La excavación se hizo durante los doce primeros años de forma primitiva, creándose a continuación una fundación pública, patrocinada y financiada por la Diputación provincial de Palencia [63], que es en la actualidad la que se encarga de su funcionamiento, a través de su departamento de cultura (Fig. 35).



Fig. 35? Vista aérea de La Olmeda.

El edificio de la villa es una mansión alrededor de un patio interior porticado o peristilo (Fig. 36) con habitaciones alrededor, simétricas sólo en el ala Norte, flanqueado por cuatro torres angulares, las dos del Norte (números 16 y 17), de dimensiones mayores y planta cuadrada, fuertes, sin comunicación con las cámaras de este lado y con dos breves contrafuertes en su cara Sur. Entre las dos torres debió existir una galería de fachada de la que sólo se tiene la cimentación. La fachada Sur es más ligera y movida, empezando por torres angulares (números 18 y 19), más delgadas, de planta octogonal comunicando con la galería del pórtico que, por el exterior, estuvo ordenado con una galería de arcos y columnas.

En alzado, el edificio es de dos plantas con accesos conocidos desde las alas Norte (habitación número 9 bis) y Sur (habitación número 23). El ingreso se efectúa a través de la habitación número 7, llegando a un corredor en cuyos extremos tiene sendas habitaciones, las números 3 del Este y 11 del Oeste, terminadas en una exedra en planta semicircular, y cubiertas por mosaicos (Fig.37).

Las habitaciones de este corredor muestran diversos tipos de suelos, así las número 10 y 4 están también cubiertas con mosaico, mientras que por el contrario las número 5, 8 y 9 tienen pavimento en opus signium y, para finalizar, la número 6 es de tierra batida.

La habitación número 1 corresponde al oecus de la casa, un amplio salón principal de 172 m². Las habitaciones 13, 14 y 15 forman un cubiculae (tres habitaciones intercomunicadas), donde la número 14 es una sala triclinium (hace referencia a la sala que poseía el mueble en el que se recostaban para comer y que se disponía alrededor de la estancia, ocupando un lugar preferente el dueño) con mosaico. Al lado

encontramos la 20 y la 21, la primera con mosaico y la segunda con pavimento de signium. Las habitaciones 22, 23 y 24 tienen pavimento de signium.

La habitación 25 ocupa el centro del ala Sur y está pavimentada con mosaico. La habitación número 30 nos lleva a las termas de la villa que están en proceso de excavación.

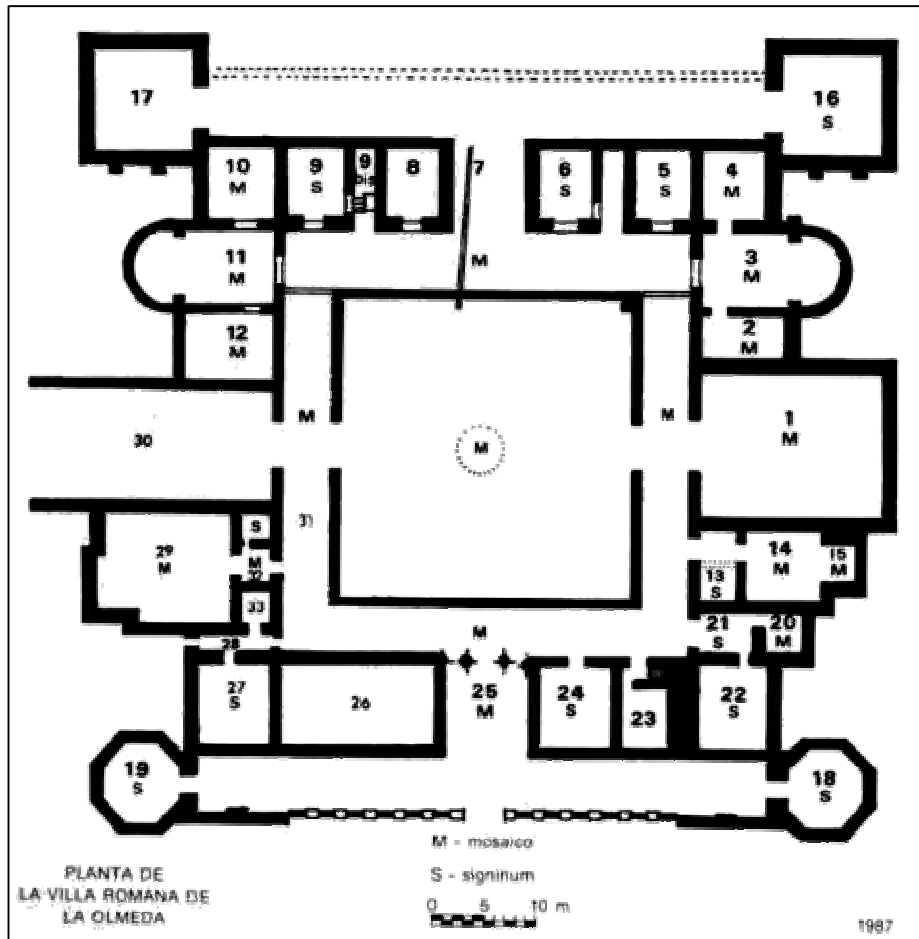


Fig. 36? Planta de la villa de La Olmeda.



Fig. 37? Exedra en planta semicircular con mosaico en el ábside.

Parecen existir dos zonas de habitaciones principales, utilizadas según la estación; así, la de invierno disponía de calefacción (Ala Este de la villa) y la de verano no (Ala Oeste).

Los muros del edificio tienen un basamento de cantería y ladrillo en la parte baja, que llega más o menos hasta unos 50 cm. de altura, con mayor predominio de ladrillos en la parte superior. Desde esta altura pudieron estar contruidos simplemente con tapial, cubierto por enlucido de cal y pintura. En el interior del peristilo aparecen pilares y jambas de entrada a los corredores laterales contruidos con pilares de ladrillo (Fig. 38).

La techumbre, en téjula plana de dimensiones reducidas, tenía un alero saliente por el exterior y hacia el jardín del peristilo, sostenido por canecillos de piedra.

Existió en esta villa un sistema para desaguar desde el peristilo y sus corredores, hacia el exterior de la villa. Este sistema de canalización utiliza teja y ladrillo en sus conductos (Fig. 39).



Fig. 38? Serie de arcos en la galería Sur del peristilo.

El mayor atractivo de la villa romana de la Olmeda lo constituye los mosaicos de mármol que se han encontrado y restaurado [64].

La pieza excepcional de esta villa es el mosaico encontrado en el oecus (Fig. 40). Se trata de una representación de Aquiles descubierto por Ulises, de 4,70 x 3.15 m. El amplio marco que rodea esta escena está formado por ánades afrontados en disposición heráldica y, entre ellos, encontramos una serie de medallones con retratos probablemente de la familia del propietario (Fig.41). En las esquinas del marco, las cuatro imágenes de las estaciones del año.



Fig. 39? Canalización interna en La Olmeda.

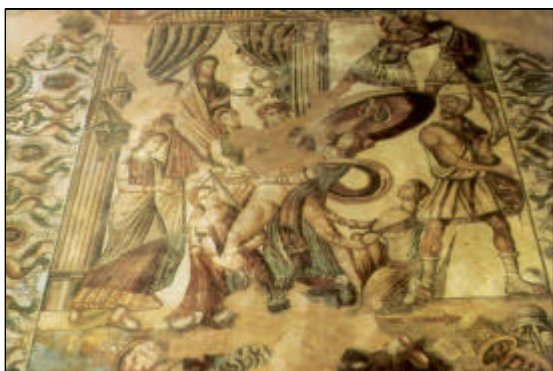


Fig. 40? Aquiles y las princesas de Skyros.



Fig. 41? Cenefa de los medallones con retratos.

Debajo de este mosaico se encuentra otro con escenas de cacería (Fig. 42) que se divide en siete grupos sin conexión alguna entre ellos. Los grupos están aislados y la calidad artística de unos a otros varía mucho, lo que indica la existencia de varios autores.



Fig. 42? Escenas de caza.

El resto de los mosaicos de la villa tienen motivos geométricos con diferentes formas y colores (Figs. 43, 44).

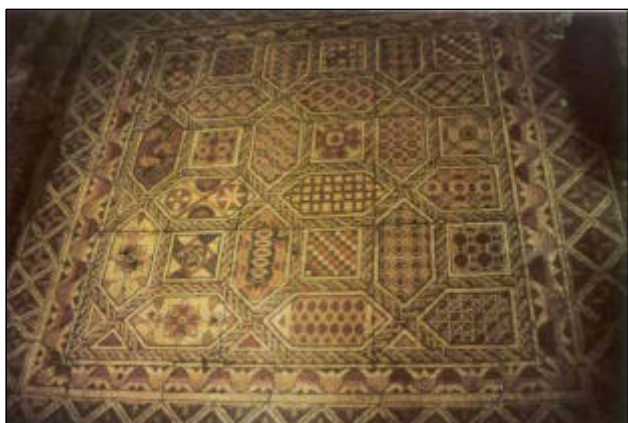


Fig. 43? Mosaico con flores de loto y hexágonos.



Fig. 44? Mosaico con esvásticas y cuadrados.

La excavación de la residencia rural de Pedrosa de la Vega, ha sido muy rica en hallazgos (Figs. 45, 46), tanto en utillaje doméstico, como en objetos de uso diario, o de lujo, así como en la aparición de moneda para adquirir aquellas piezas que debían proveerse en el mercado [65,66].



Fig. 45? Jarra de vidrio.



Fig. 46? Vasija de Terra Sigillata Tardía.

La villa debió ser destruida con cierta violencia y abandonada, de manera que tanto las cerámicas como los bronceos o los instrumentos de hierro quedaron atrapados en la villa y no se recuperaron, como suele suceder cuando los lugares son abandonados poco a poco sin violencia, o saqueados en una destrucción rápida y provocada.

Los hallazgos de moneda han sido muy abundantes e indican que la primera villa debió edificarse en la primera mitad del siglo I d. C., y debió ser habitada hasta finales del siglo III d. C., hacia el año 275, fecha de su destrucción. La nueva casa se construye hacia el segundo cuarto del siglo IV d. C., ya que a partir del año 330 la llegada de moneda a las necesidades de la casa es normal y abundante, lo que significa que durante los dos últimos tercios del siglo IV d. C. la casa tiene una vida prospera, sin sacudidas ni baches [67].

Se tiene certeza de la pervivencia de la villa, por lo menos, durante todo el siglo V d. C.

2.3.2. La Tejada (Quintanilla de la Cueva)

Esta villa tardo-romana (Fig.47) se encuentra al Noroeste de Quintanilla de la Cueva (Fig. 33), en el llamado paraje de Tejada. Este, se localiza en la cuenca del río Cueva a dos kilómetros de Cervatos de la Cueva. El paisaje es llano y de secano [68].



Fig. 47: Vista general de la villa.

Las excavaciones comenzaron el año 1970 con el primer mosaico y terminaron en el año 1978, cuando comenzaron los trabajos de consolidación de muros y colocación y restauración de mosaicos, que anualmente y durante dos meses (según el guía de la excavación) son restaurados.

Para la protección de las ruinas, la Diputación Provincial de Palencia ha levantado una construcción que cubre todo lo excavado y que permite la contemplación de la planta de la villa mediante la instalación de puentes y pasarelas sobre la misma (Fig. 48).



Fig. 48: Vista general de la excavación.

La actual villa de Tejada es una pequeña parte de un complejo mucho mayor, que se extiende hacia el Norte de las habitaciones colocadas en el eje Oeste-Este.

La parte descubierta está formada por tres bloques de distinta orientación, que parece indicar que no existió un planteamiento inicial pensado, sino que se han ido añadiendo edificios a una primitiva datada en el Siglo II, de donde se han reutilización algunos de los materiales de construcción.

Contemplando el plano general de esta villa (Fig. 49), el primer bloque está formado por un conjunto de habitaciones de diversos tamaños, de orientación Norte-Sur, con muros externos de mampostería realizada con piedra caliza, mortero de cal y ladrillo. Destaca de este bloque la existencia de una piscina (nº 1), a la que se descendía desde la habitación número 3 por medio de una escalera con pocos peldaños. Casi todas las habitaciones de este conjunto poseían mosaico.



Fig. 49? Plano general de la villa La Tejada, Quintanilla de la Cueva.

El segundo bloque se organiza a lo largo de un pasillo (nº 21) de orientación Este-Oeste, al Norte del cual existen seis habitaciones que estuvieron todas ellas pavimentadas con mosaico.

El último bloque está formado por un conjunto, al parecer, de almacenes trazados en perfecta escuadra y con orientación más próxima a la línea Norte-Sur.

Los muros de la villa están contruidos sobre un asiento de cantos rodados que sirven de apoyo a la pared de mampostería. Sobre ésta debía de ir un tapial de adobes. Los tabiques tienen el mismo tipo de construcción.

Existen en la villa abundantes habitaciones cuyo suelo se levanta sobre pilares de organización diversa, destinados a sustentar y caldear, con aire caliente, por el pavimento (Fig. 50).



Fig. 50? Uno de los diferentes sistemas de calefacción utilizados en la villa de la Tejada.

Un horno, construido con paredes de mampostería e hiladas de adobe separadas con capas de cal y arena, suele colocarse en el muro exterior de la habitación, dejando en éste un orificio para el paso del aire caliente, producido mediante la quema de leña o paja. La variedad encontrada de estos hipocausta y su conservación es bastante excepcional (Figs. 51 y 52).

Los mosaicos [64] son una de las riquezas arqueológicas y artísticas de la villa. Muchos de ellos han desaparecido, bien porque se levantaban sobre el hipocausta, bien por la acción del arado, o grupos humanos posteriores, o por expoliación. Aún así, muchos de ellos se conservaron.



Fig. 51? Sistema de calefacción; estructura de hipocausta en la villa.



Fig. 52? Sistema de calefacción; detalle de las conducciones hacia las habitaciones.

Un ejemplo claro es el mosaico de “Leda y el cisne” (Fig. 53) (habitación número 24) de 42 m² aproximados, que aparecen enmarcados en un rectángulo de entrelazos. A derecha e izquierda existen dos grandes alfombras, una basada en juego de arcos conopiales que inscriben círculos con ruedas y rombos (Fig. 54), y otras con cuadros de sogueado que encerraban figuras míticas, como la cabeza de Neptuno (Fig. 55), que es la única conservada.



Fig. 53: Emblema del mosaico "Leda y el cisne".



Fig. 54: Alfombra lateral del mosaico "de Leda".

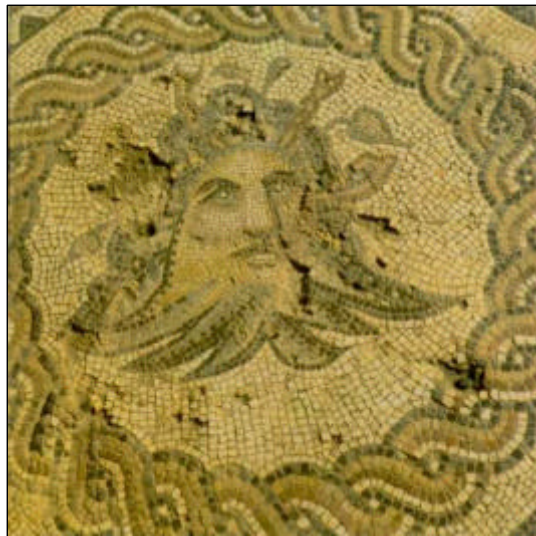


Fig. 55: Detalle de la cabeza de Neptuno en el mosaico "de Leda".

Otro mosaico importante, se encuentra situado en la habitación número 20, llamado "de los peces" (Fig. 56), formado por una orla de teselas blancas grandes, con dos franjas negras y un emblema rectangular de teselas pequeñas, en donde entre trazados geométricos repetidos se colocan parejas de peces, algún caracol marino, nudos de Salomón y sogueado.

Las habitaciones o pasillos sin mosaicos están formados por una capa de cal y cerámica triturada. Sin embargo, los suelos del tercer bloque, almacenes o bodegas, debieron ser de tierra. La piscina tiene también un suelo cimenticio, con la presencia de una especie de baquetón que forma el rodapiés y une la pared con el pavimento.



Fig. 56? Mosaico de “los peces”.

Los conductos para desaguar esta piscina son cerámicos, y principalmente están formados por hileras de tejas, aunque también aparecen conductos de plomo (Fig. 57).



Fig. 57? Detalle de una conducción de plomo de desagüe de la piscina.

Los materiales y objetos hallados que sirvieron al normal funcionamiento de la villa ofrecen un cierto conocimiento del género de vida que en ella existió. [69,70] Algunas piezas muy diversas, o fragmentos de ellas hacen suponer que la villa se fue abandonando paulatinamente, sin probabilidad de huida repentina por incendio o destrucción violenta. Se puede citar algún mango de hoz en hueso, alfileres de cabello de hueso y de bronce, cuchillos triangulares y afalcados, fragmentos de llaves, anillas de bronce, clavos de cabeza redonda, cuadrada y lateral, campano de ganado de bronce, etc ...

Entre el material hallado, sobresale el de cerámica en sus diversos tipos: abundante sigillata que se adscribe a los siglos II y IV y cerámica fina no sigillata.

Son abundantes los fragmentos de vidrio de muy diversas calidades, habiéndolas de paredes finas y molduradas.

La moneda hallada abarca un período cronológico comprendido entre los siglos I y IV de nuestra era, predominando claramente los ejemplares pertenecientes a la segunda mitad del siglo III y, en menor medida, primera mitad del siglo IV.

Parece asegurarse la existencia de un hábitat a partir del siglo II al menos, con un apogeo a finales del siglo III y todo el IV, y una decadencia posiblemente a mediados del siglo V.

No parece, según testimonio de las excavaciones, haberse producido un incendio que devastase repentinamente la construcción y que acabase de un golpe (acción guerrera) con la vida de la villa. Más bien, se apercibe una lenta decadencia y un abandono progresivo, es decir, un empobrecimiento de las generaciones propietarias o de las recuperadoras, sin que lleguemos a conocer cuales fueron las razones de este declive, aunque se suponga se trata de un resquebrajamiento de la organización rural producido tal vez como consecuencia del nuevo orden visigodo que afectó a la vida de estas villas.

Parece ser que la villa de La Tejada hoy descubierta puede no ser más que las habitaciones de los baños de una terma romana, dado que la mayor parte de los temas aludidos tienen relación con el agua, con lo que aun quedaría conocer el núcleo principal de la villa.

33. Fig. ? Mapa de acceso a las villas romanas.
 34. Fig. ? Plano de situación de las principales villas romanas de la provincia de Palencia.
 35. Fig. ? Vista aérea de La Olmeda..
 36. Fig. ? Planta de la villa de La Olmeda.
 37. Fig. ? Exedra en planta semicircular con mosaico en el ábside.
 38. Fig. ? Serie de arcos en la galería Sur del peristilo.
 39. Fig. ? Canalización interna en La Olmeda.
 40. Fig. ? Grupo de Aquiles y las princesas de Skyros.
 41. Fig. ? Cenefa de los medallones con retratos.
 42. Fig. ? Escenas de caza.
 43. Fig. ? Mosaico con flores de loto y hexágonos.
 44. Fig. ? Mosaico con esvásticas y cuadrados.
 45. Fig. ? Jarra de vidrio.
 46. Fig. ? Vasija de Terra Sigillata Tardía.
 47. Fig. ? Vista general de la villa.
 48. Fig. ? Vista general de la excavación.
 49. Fig. ? Plano general de la villa La Tejada, Quintanilla de la Cueva.
 50. Fig. ? Uno de los diferentes sistemas de calefacción.
 51. Fig. ? Sistema de calefacción; estructura de hipocausta en la villa.
 52. Fig. ? Sistema de calefacción; detalle de las conducciones hacia las habitaciones.
 53. Fig. ? Emblema del mosaico "Leda y el cisne".
 54. Fig. ? Alfombra lateral del mosaico "de Leda".
 55. Fig. ? Detalle de la cabeza de Neptuno en el mosaico "de Leda".
 56. Fig. ? Mosaico de "los peces".
 57. Fig. ? Detalle de una conducción de plomo de desagüe de la piscina.
-
61. PÉREZ – JUEZ. J. MORÍN. "Villas romanas de la Olmeda y Quintanilla de la Cueva". Restauración y rehabilitación. Nº 44. (Septiembre 2000). pp: 54 – 61.
 62. "La Villa romana de La Olmeda de Pedrosa de la Vega (Palencia)". P. PALOL. Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia. (1993).
 63. "La Olmeda. Villa Romana". Catálogo de visita. Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia. (2001).
 64. J. M. BLÁZQUEZ. "Arte y mitología en los mosaicos palentinos". I Congreso de historia de Palencia. Tomo I. Palencia. (1985). Ed. Excma Diputación provincial de Palencia pp: 361- 379.
 65. J. M. GÓMEZ DE SALAZAR. A. UREÑA. J. M. GUILMANY. "Estudio metalográfico de unos clavos de la villa romana de La Olmeda (Pedrosa de la Vega, Palencia)". X Congreso de conservación y restauración de bienes culturales. Cuenca. (1994). Ed. . pp: 315-325.
 66. "La necrópolis de La Olmeda". J. CORTES. Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia. (1990).
 67. J. CORTÉS. "Villas romanas en Palencia". Álbum Letras y Artes. Nº 64. (2001). pp: 62 – 70.
 68. "Guía de la villa romana de Quintanilla de la Cueva (Palencia)". M. A. GARCÍA GUINEA. Ed. Diputación de Palencia. (1990).
 69. M. DEL AMO Y DE LA HERA. F. J. PÉREZ. C. COLÍN. "Museo de Palencia". Revista de Arqueología. Año XIX. Nº 202. (Febrero 1998). pp: 54 – 61.
 70. M. JEREZ. "Museo arqueológico de Palencia". Álbum Letras y Artes. Nº 64. (2001). pp: 71 – 76.

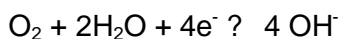
2.4. CORROSIÓN DE MATERIALES METÁLICOS ENTERRADOS.

Los fenómenos de corrosión que padecen los materiales metálicos son, mayoritariamente, electroquímicos [52]. Este fenómeno se da siempre y cuando exista un mínimo de humedad que permita la existencia de una película de condensación sobre la superficie del metal expuesto [71]. Además, la degradación que sufren estos materiales cuando están enterrados se ven influenciados por las características de los suelos [72].

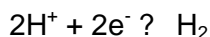
La reacción anódica es la disolución del metal:



y la reacción catódica es habitualmente la reducción del O_2 .



Si bien, en circunstancias especiales relacionadas con terrenos ricos en materia orgánica o con determinada actividad bacteriana (suelos ácidos), puede ser, al menos en parte, la reducción de protones:



2.4.1. Efecto del medio de enterramiento.

Al centrar el estudio en materiales metálicos enterrados es necesario estudiar las características y las influencias de los medios.

• Granulometría del Terreno

El suelo es un medio heterogéneo con multitud de microporos rellenos de aire y/o humedad. Su granulometría abarca desde partículas gruesas de arena de tamaños comprendidos entre 0.07 y 2 mm, hasta partículas de características coloidales (terrenos arcillosos) con tamaños inferiores a 50 μm . Los primeros, son en general, aireados, secos, de alta resistividad y poco agresivos. Por el contrario, los segundos son húmedos, conductores y agresivos desde el punto de vista de la corrosión [71].

Esto es debido a que los productos de corrosión que se forman en los suelos aireados son más protectores que los formados en suelos no aireados. También hay que tener en cuenta que, en la mayor parte de los suelos, y sobre todo en los no bien aireados, la corrosión toma la forma de picaduras profundas [73].

? Grado de Humedad

El grado de humedad determina el espesor de la película de electrolito en contacto con el material metálico.

En terrenos muy húmedos, la reacción anódica de corrosión aparece despolarizada, pero se dificulta la catódica debido a que el O_2 debe disolverse en el agua que rellena los microporos capilares y desplazarse por fusión hasta la superficie metálica. No existe posibilidad, en estas condiciones, de transporte por convección forzada y, por supuesto, tampoco por migración al ser el O_2 una molécula neutra. En estas condiciones el proceso de corrosión suele estar bajo control catódico [71].

Por el contrario, si el terreno es muy seco, y prácticamente no existe película húmeda conductora sobre la superficie metálica, la corrosión puede ser nula o mínima debido a un fuerte control anódico y de resistencia. Los terrenos más agresivos son, por tanto, los que presentan niveles intermedios de humedad [71].

El grado de humedad está directamente relacionado con el clima del entorno, de manera que las variaciones grandes de temperatura van a facilitar el desprendimiento de los productos de oxidación del hierro, dado el distinto coeficiente de dilatación entre éste y los óxidos formados, y por este motivo, los óxidos no van a proteger la superficie del metal y puede ser nuevamente corroído. Las lluvias o precipitaciones van a favorecer la corrosión electroquímica, ya que disolverán los minerales del terreno y renovarán continuamente el oxígeno disuelto en la humedad de la tierra. La nieve y el hielo harán disminuir, durante el invierno, el efecto corrosivo de las micropilas galvánicas al ser malos conductores de la corriente eléctrica. También, y en contraposición con lo dicho antes, los cambios de temperatura favorecen la conservación de los metales, pues harán precipitar sobre su superficie una débil película de carbonato que la protegerá en cierta medida contra la corrosión [74].

? Grado de Acidez

Los suelos, habitualmente, presentan un pH neutro o alcalino que puede verse disminuido debido a la formación de H_2CO_3 a partir del CO_2 disuelto y agua. El CO_2 aparece en aguas profundas o bien, por efecto de la actividad biológica de ciertos organismos. Además, la acidez puede también ser consecuencia de la presencia de materia orgánica (humus) en descomposición. En estas condiciones la reacción catódica puede llegar a ser la reducción de H^+ , que introduciría un factor de despolarización catódica y un aumento en la velocidad de corrosión [71].

Los suelos que contienen ácidos orgánicos derivados del humus son relativamente corrosivos para el acero, cinc, plomo y cobre [73].

? Contenido en Sales

La mayoría de los terrenos están constituidos por silicatos y carbonatos además de óxidos de aluminio e hierro insolubles y también por sales solubles, que van a influir en la conductividad del suelo, constituida por cloruros y sulfatos [71].

Las concentraciones elevadas de NaCl y Na₂SO₄, en los suelos que no desaguan bien, hacen que el suelo sea muy corrosivo [73]. Esto es debido a que los aniones Cl⁻ y SO₄²⁻ rompen localmente películas pasivas facilitando la aparición de fenómenos de corrosión por picadura, en exceso de cloruros, y por su posible participación en la acción biológica de bacterias sulforreductoras en el caso de los sulfatos [71].

Sin embargo, no todas las sales provocan este fenómeno de corrosión ya que, hay algunas que protegen la superficie del metal al depositar sobre él una capa de fosfatos o carbonatos que actúan de inhibidores, principalmente el fosfato sódico y el carbonato sódico [74].

Sea perjudicial o beneficioso, el papel que desempeñan las sales al estar en disolución es desfavorable desde el punto de vista electroquímico, ya que facilitaran el paso de la corriente eléctrica y con ello el efecto de las micropilas galvánicas [74].

? Grado de resistividad.

Los terrenos resistivos se consideran de baja agresividad, ya que la fuerte caída óhmica a través de ellos impide el funcionamiento de macropilas, donde ánodo y cátodo aparezcan separados por una distancia significativa. En estas condiciones, el mecanismo de corrosión transcurre a través de micropilas originadas por heterogeneidades en el propio metal o en el medio circundante, donde ánodos y cátodos aparecen muy próximos. El resultado es un ataque más o menos generalizado a lo largo de toda la superficie expuesta, que no suele ser muy severo y que define la “corrosividad absoluta” del terreno [71].

Por el contrario, si el terreno es conductor es posible el funcionamiento de macropilas donde las zonas anódicas y catódicas estén separadas por una distancia que puede ser considerable. Estas tienen su origen en fenómenos de aireación diferencial y constituyen lo que se conoce como “corrosividad relativa” del terreno. El fenómeno de aireación diferencial aparece como consecuencia de la distinta permeabilidad de diferentes zonas del terreno al oxígeno, donde la concentración o presión parcial del mismo es diferente y se genera la pila, localizándose la región anódica, y por tanto el

ataque, en la zona pobre en oxígeno. Estos fenómenos de ataque local son más severos, lo que justifica que estos terrenos se cataloguen como agresivos [71].

- Efecto de los gases en disolución.

De los gases disueltos en el agua, el oxígeno es el más perjudicial para la conservación de los metales. También hay que tener en cuenta los gases producidos en las descargas eléctricas, durante las tormentas, en las que se formaran pequeñas cantidades de productos corrosivos, como el peróxido de nitrógeno, que son rápidamente disueltos por el agua [74].

- Efecto de la corrosión galvánica.

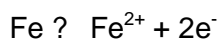
Para que se produzca una corrosión galvánica, no es necesario que los metales electroquímicamente diferentes estén en contacto, basta con que exista, entre ellos, un medio capaz de permitir el paso de corriente eléctrica. Aún así, la presencia de diferentes metales de distintas tensiones galvánicas, como puedan ser hierro, cobre y bronce, por enumerar los más corrientes, se creará una pila galvánica, que tiene como vehículo, la humedad del suelo y las sustancias en disolución en la cual saldrá perjudicado el metal más electronegativo.

2.4.2. Efecto de la naturaleza del material metálico enterrado.

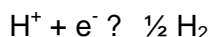
Una vez estudiada la influencia del terreno (medio) en la corrosión de materiales metálicos, se describirán los mecanismos de corrosión sufridos por materiales de naturaleza férrea y de naturaleza base cobre.

2.4.2.1. HIERRO.

En la degradación del hierro, la teoría electroquímica de la corrosión del hierro, indica que los iones de este metal se disuelven en las áreas anódicas según la siguiente reacción:

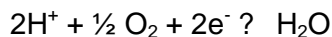


Esta reacción es rápida en casi todos los medios y está controlada usualmente por la reacción catódica, que en general es mucho más lenta (control catódico). Así, en soluciones desaireadas la reacción catódica es la siguiente:



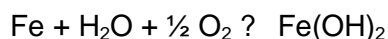
que es bastante rápida en ácidos, pero es lenta en los medios alcalinos y en los acuosos neutros.

La reacción catódica se puede acelerar por la presencia de oxígeno no combinado o disuelto según la reacción siguiente, proceso que se denomina “despolarización”:



El oxígeno disuelto reacciona con los átomos de hidrógeno adsorbidos al azar sobre la superficie del hierro, independientemente de la presencia o ausencia de impurezas. La reacción de oxidación procede con la misma rapidez con la que el oxígeno alcanza la superficie del metal.

La reacción global según el diagrama de la figura 58, sería:



El color del $\text{Fe}(\text{OH})_2$, aunque es blanco cuando es puro, aparece normalmente de color verde a negro verdoso debido a la oxidación incipiente que produce el aire. Este hidróxido compone la capa barrera de difusión próxima a la superficie del hierro, a través de la cual se tiene que difundir el O_2 . Cuando esto ocurre se produce la transformación del hidróxido ferroso a hidróxido férrico de acuerdo con la reacción:

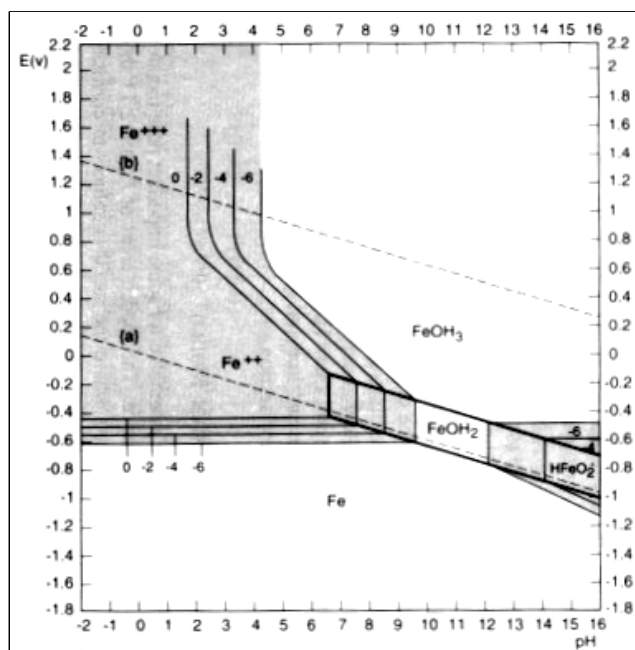
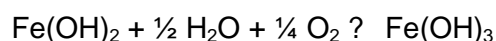


Fig. 58: Diagrama de Pourbaix para el hierro, en condiciones de actividad iónica 0, -2, -4 y -6 [75].

El óxido férrico hidratado es de color anaranjado a rojo oscuro y, constituye la mayor parte del orín ordinario. Puede existir como $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematites) no magnético o como $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ magnético, siendo la forma α la que tiene mayor estabilidad presentando

mayor energía libre negativa de formación. Entre el Fe_2O_3 y FeO hidratado es frecuente que se forme una capa intermedia de color negro, de óxido ferroso-férrico hidratado magnético, de fórmula $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Según esto, las películas de herrumbre u óxido se componen, por lo general, de tres capas de óxidos de hierro en diferentes estados de oxidación [73].

Los mecanismos de corrosión de piezas enterradas arqueológicas de naturaleza férrea, pueden ser establecidos a partir del estudio de los productos de corrosión generados sobre estas piezas a lo largo del tiempo.

Las escorias son productos procedentes del proceso de fabricación, nunca de la degradación del material metálico con el paso de los años. Se presentan en los materiales metálicos férricos y, están principalmente formados por fayalita y wustita, apareciendo ocasionalmente anortita [76].

En el caso de los productos del proceso de fabricación por forja son escorias con forma alargada y habitualmente, constituidas por una matriz fayalítica (Fe_2SiO_4) con partículas de wustita (FeO) no reducidas, ambas procedentes de la técnica extractiva del metal a partir del mineral de hierro utilizado [77, 78]. La presencia de silicio en forma de silicato proviene del fundente añadido (sílice esparcida sobre el hierro).

Además, es conocido [79] que las escorias más ricas en FeO se localizan en zonas ferríticas de las piezas, mientras que en las zonas perlíticas se presentan escorias ricas en SiO_2 . Este hecho puede ser asociado al tipo de proceso llevado a cabo en el horno. Así, a una temperatura relativamente baja y a un potencial reductor del gas CO/CO_2 limitado, la fase metálica está formada por hierro sin carbono (fase ferrítica), y sus correspondientes escorias son ricas en FeO . Por el contrario, a temperaturas relativamente altas y con grandes cantidades de gas reductor CO/CO_2 , el metal comienza a carburizarse y viene asociado a una escoria pobre en FeO . También está demostrado que las inclusiones en metales ferríticos son voluminosas, mientras que en los aceros son pequeñas y delgadas.

La presencia de otros óxidos, formando la escoria, son habituales en materiales arqueológicos y denotan diferentes procedencias. Si bien el Al_2O_3 resulta propio de la minería del hierro, la presencia de SnO_2 indica que se está tratando de la metalurgia del estaño, ya que este elemento no existe normalmente en minerales de hierro [80].

También hay que tener en cuenta que, al igual que la metalurgia del hierro ha evolucionado, las escorias presentes en estos procesos evolucionan con ellos y se conoce que, en un principio las escorias eran mayoritariamente magnéticas, después fueron wustíticas y en tiempo romano fueron fayalíticas [81]. La composición de las

lepidocrocita γ -FeOOH, menos estables pero con un papel importante en el proceso de corrosión [84].

Otros autores [77,78] apuestan por una pátina de corrosión formada por γ -FeOOH, α -FeOOH, δ -FeOOH y Fe_3O_4 . Una explicación de este hecho [85] supone un proceso de formación de pátina en el cual la presencia de iones cloruro provoca la corrosión del hierro para formar Fe^{2+} en solución, y los sólidos estables magnetita y goetita. La formación de β -, γ - y δ -FeOOH es debida a la oxidación anódica de iones ferrosos. De esta forma se puede obtener una pátina formada por Fe_3O_4 , β -FeOOH o γ -FeOOH, dependiendo del pH de oxidación. En medio sulfuro, el proceso es similar y resulta α -, γ o Fe_3O_4 como productos componentes de la pátina.

El proceso de formación de capas de protección [77,78] se basa en que los primeros óxidos que se forman son los oxihidróxidos de hierro, y principalmente el γ -FeOOH. Posteriormente una parte del γ -FeOOH transforma a α -FeOOH. Estos oxihidróxidos no son protectores de la corrosión, ya que por su naturaleza agrietada dejan pasar el oxígeno y humedad a través de ellos, siendo los principales causantes de la corrosión.

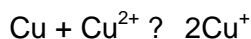
Muchos de estos FeOOH transforman a óxidos magnéticos, que son más protectores, como son Fe_3O_4 ó γ -Fe $_2\text{O}_3$. Además de los α y γ FeOOH puede presentarse el δ -FeOOH que posee una naturaleza amorfa y que tiene una gran protección frente a la corrosión por la naturaleza continua de su capa de formación. La formación de esta capa continua de δ -FeOOH puede ser catalizada por la presencia de elementos como P, Cu y Cr.

2.4.2.2. COBRE.

El proceso de degradación del cobre tiene lugar por disolución anódica en la mayor parte de los medios acuosos (Fig. 61) formando en ión Cu^{2+} .



La reacción de equilibrio entre el metal y los iones Cu^+ o Cu^{2+} indican que la reacción:



está muy desplazada hacia la izquierda. Por otra parte, si se forman complejos, como por ejemplo, en una solución de cloruro, entre Cu^+ y Cl^- , el empobrecimiento continuo de Cu^+ por conversión en CuCl_2 favorece al ión univalente como principal producto de disolución [73].

En el caso de material metálico cuproso, los productos de corrosión del cobre [82] mayoritarios expuestos a atmósferas de interior (indoor) son: cuprita Cu_2O ; malaquita

$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$; nantokita CuCl ; atacamita $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ y tenotita CuO . Ya en época egipcia [87] los objetos presentaban pátinas formadas por: $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ y Cu_2O .

De forma particular en los bronce, la naturaleza de las capas de corrosión de estas aleaciones dependerán en gran medida del medio de corrosión [88], así se presentará malaquita (en medio enterrados, suelo), brocatita $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})$ (en atmósfera) o atacamita (en medios marinos).

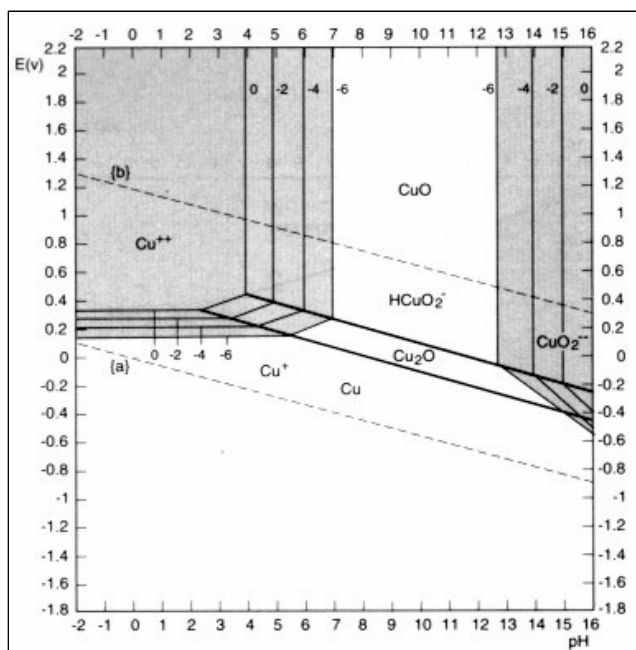


Fig. 61: Diagrama de Pourbaix para el cobre, en condiciones de actividad iónica 0, -2, -4 y -6 [75].

Los bronce antiguos generalmente presentan superficies oxidadas uniformes que preservan las superficies originales [89]. Son capas pasivas conocidas como “pátinas nobles” que protegen a las aleaciones durante miles de años. Estas capas pasivas están caracterizadas por estar constituidas por dos estructuras dispuestas en capa:

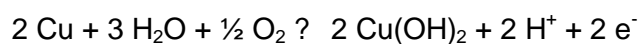
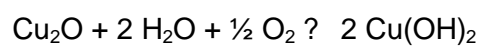
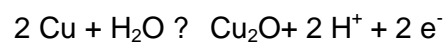
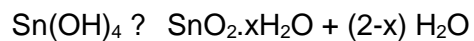
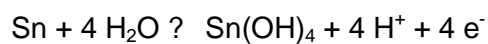
- Una homogénea de grano metálico de colores variables, con inclusiones de sulfuro de cobre.
- Una interna de cloro gris marrón, con ataque localizado intergranularmente.

La relación de radio entre la pátina y la aleación viene dada por β , que presenta valores medios de 18 ± 4 y que hace referencia a suelos moderadamente agresivos.

$$\beta = (\text{Sn/Cu})_p / (\text{Sn/Cu})_a$$

La excelente resistencia a la corrosión de bronce de estaño en condiciones naturales moderadamente agresivas puede ser atribuida a la formación de compuestos de

estaño resistentes como $\text{SnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Consecuentemente, un aumento del %Sn en las capas pasivas, puede explicar la disolución selectiva de Cu (Descuprificación). Este proceso se lleva a cabo mediante la siguiente secuencia de reacciones químicas:



52. "Metalurgia prehistorica. Introducción a la paleometalurgia". J. P. MOHEN. Ed. Masson. (1992).
71. Otero
72. Walker R. The role of corrosion inhibitors in the conservation of iron. National Maritime Museum. Greenwich. London. Maritime Monographs and reports. Nº 53. 1982. pp:58- 67.
73. Uhling, H. Corrosion y control de la corrosion. Ed. Urmo, SA. 1963. Pp: 92-93,166,167,168
74. GARCÍA GUINEA, M. A. y RINCÓN, R.: "Estudio de muestras de hierro encontradas en Celada Marlantes". Apéndice al libro de M. A. García Guinea y R. Rincón "El Castro Cántabro de Celada Marlantes (Santander)". Institución cultural de Cantabria. Santander. (1970). pp: 37-43.
75. Jones A. Principles and prevetion of corrosion. 1992. Maxwell macmillan international editions.
76. Gordon R.B. Process deduced from ironmaking wastes and artefacts. Journal of archaeological Science, 1997, 24, 9-18.
77. A.V. Ramesh Kumar and R. Balasubramaniam. Corrosion product analysis of corrosion resistant ancient indian iron. Corrosion Science Vol. 40, Nº 7, pp 1169-1178,1998.
78. P. Dillmann, R. Balasubramaniam, G. Beranger. Characterization of protective rust on ancient Indian iron using microprobe analyses. Corrosion Science Vol. 44,2002, 2231-2242
79. Buchwald V. F. and Wivel H. Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects. Materials characterization 40, 73-96, 1998.
80. Maia e Costa, H. Nota sobre as escórias encontradas no Castro de Carvalhelhos. Trabalhos de antropología e etnografía. Vol XX nº 1-2. Porto 1965-66, pp:173-180.
81. Madroñero de la Cal, A. Estudio de una estatuilla de Fayalita aparecida en Tricio (Rioja). Caesaraugusta nº 63. Zaragoza, 1986, pp:181-203.
82. Veleva, L., Castro, P., Hernández – Duque, G., Schorr, M. The corrosion performance of steel and reimforced concrete in a tropical humid climate. A review. Corrosion Reviews. Pp: 235-284. Vol. 16, nº 3, 1998. England. Freund Publishing house.
83. Sparkes, D. J. Identifying high temperature oxides on steel. The welding institute research bulletin. Julio 1987. Vol. 28. pp:231-232.
84. Knight B. Why do some iron objects break up in stone?. National Maritime Museum. Greenwich. London. Maritime Monographs and reports. Nº 53. 1982. pp:50- 55.
85. Turgoose, S. The nature of surviving iron objects. National Maritime Museum. Greenwich. London. Maritime Monographs and reports. Nº 53. 1982. pp:1- 7.
86. E. Otero, J.M.Bastidas, W. Lopez and J.L.G. Fierro. Characterization of corrosion products on chalcographic cooper plates after 200 years' exposure to indoor atmospheres. Werkstoffe und korrosion 45, 387-391, 1994.
87. E. Angelini, P. Bianco, E.D. Amicone, L. Vigna. Study of corrosion phenomena on ancient egyptian metallic artifacts. 11thInternational congress, Florence. 2425-2432
88. Constantinides, I. Adriaens, A. and Adams F. Surface characterization of artificial corrosion layers on cooper alloy reference materials. Applied Surface Science 189 (2002) 90-101.

89. L. Robbiola, J. M. Blengino and C. Fiaud. Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu-Sn alloys. Corrosion Science Vol.40 N° 12 pp 2083-2111, 1998.
58. Fig. : Diagrama de Pourbaix para el hierro, para actividad iónica 0, -2, -4 y -6 [jones].
59. Fig. : Diagrama binario FeO – SiO₂ [].
60. Fig. : Diagrama ternario Fe₂O₃ – FeO – SiO₂ donde cada punto indica la composición de una escoria romana [].
61. Fig. : Diagrama de Pourbaix para el cobre, para actividad iónica 0, -2, -4 y -6 [jones].

3. *PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL*

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El procedimiento experimental que se ha seguido en el estudio de las piezas objeto de estudio pertenecientes a las villas de La Olmeda y La Tejada, se esquematiza según el diagrama de la figura 62 [90].

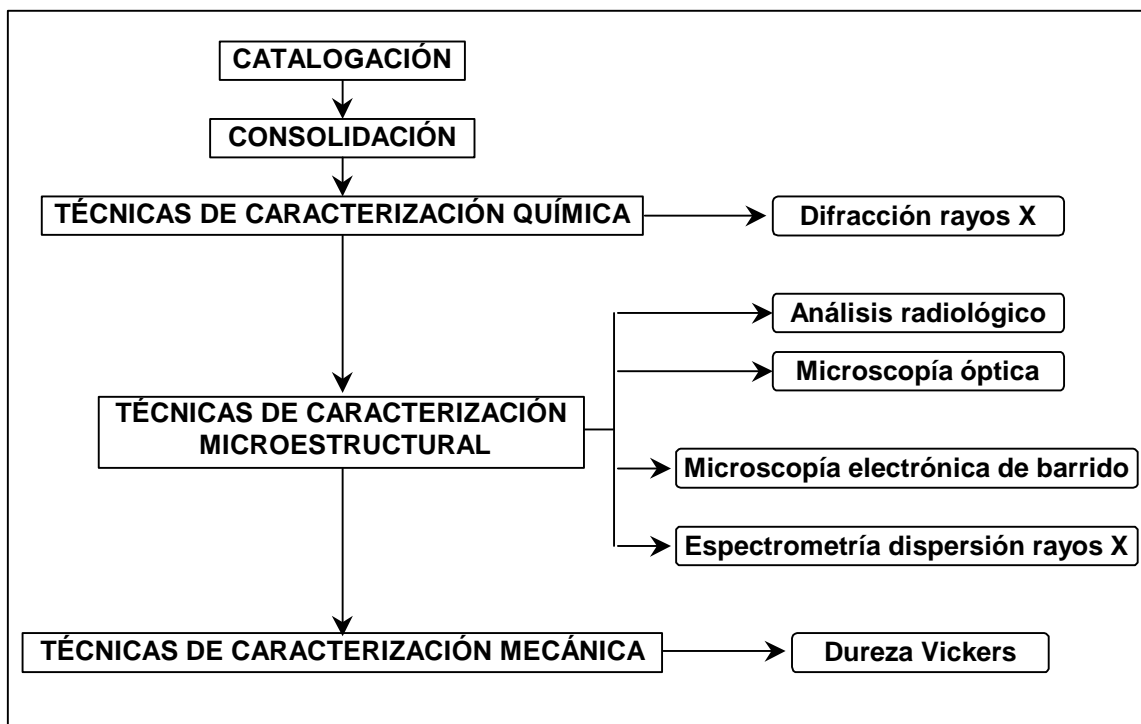


Fig. 62: Esquema del procedimiento experimental llevado a cabo en el presente trabajo.

En los siguientes apartados se desarrollarán las diferentes etapas del procedimiento, los criterios de actuación, los equipos que se utilizan y las condiciones en las cuales se opera.

3.1. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

El conocimiento geológico de la localización de las villas de donde han sido extraídas las piezas estudiadas, facilitara el establecimiento de los mecanismos de corrosión y degradación de las piezas, así como, la influencia del medio de enterramiento de los mismos y su estado de conservación.

Las villas objeto de estudio, La Olmeda (Fig. 63 marcada como A) y La Tejada (Fig. 63 marcada como B), se sitúan en la hoja número 19 de Mapa geológico de España, León [91]. Esta hoja se localiza en el cuadrante noroccidental de la cuenca del Duero, caracterizado por ser una cuenca de sedimentación de ambiente continental, rellena por materiales terciarios con predominio de los sedimentos de Edad Miocena.

Los terrenos paleozoicos se caracterizan por la presencia de pequeños afloramientos de pizarras y cuarcitas, datadas como ordovícicas y silúricas, sobre las que se depositan los materiales mioceno – cuaternarios en contacto discordante.

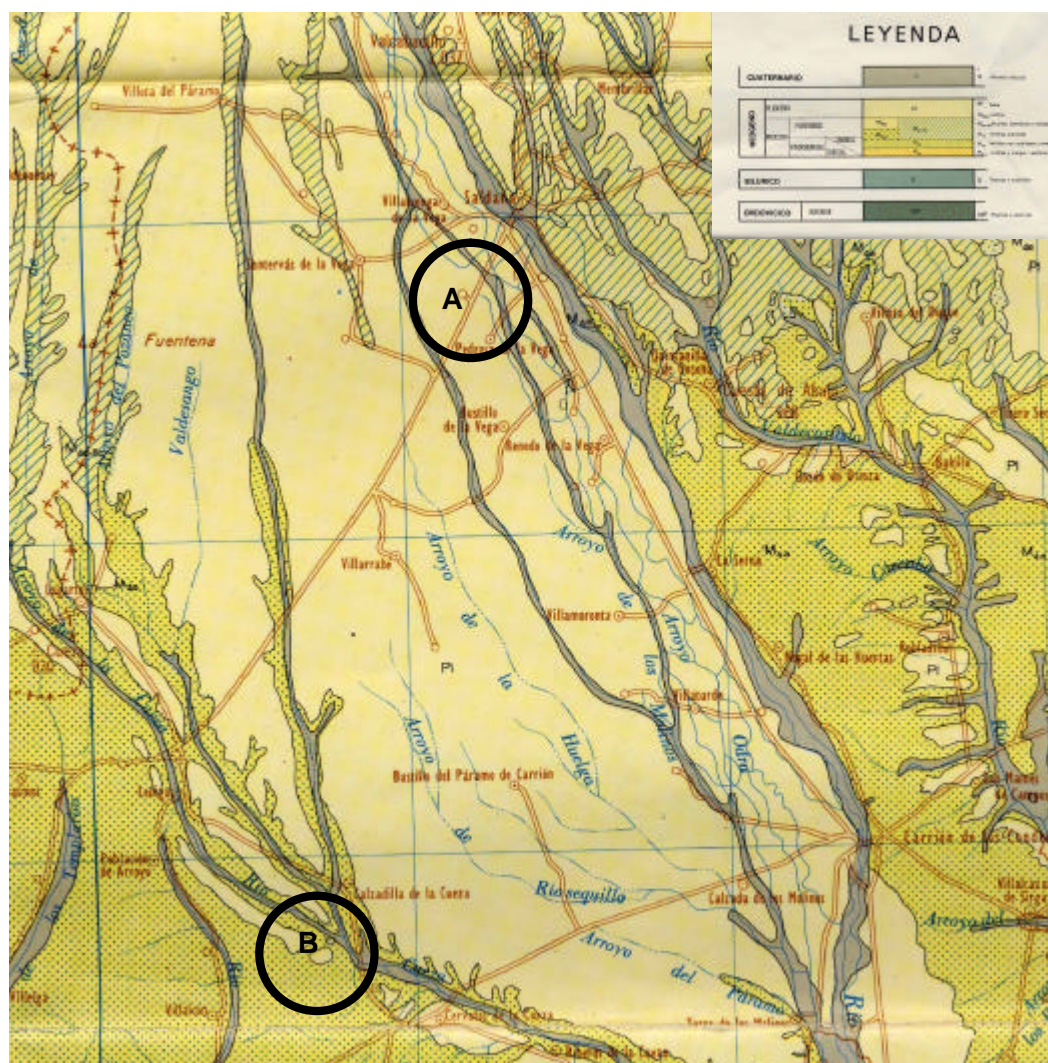


Fig. 63: Detalle de la zona objeto de estudio de la hoja n° 19 a escala 1:2000.000 del Mapa Geológico de España, León. A: Zona de La Olmeda. B: Zona de La Tejada.

Los terrenos miocenoicos (Fig. 64), están formados por diferentes facies litológicas que son más detríticas cuanto más se acercan al borde de la cuenca. Así, las villas romanas, pertenecen a la facie de Tierra de Campos en donde litológicamente se caracteriza por arcillas ocre amarillentas algo arenosas. Esta facies se sitúa en los valles o zonas bajas, intermedias entre los páramos y lechos fluviales.

Los terrenos pliocénicos están compuestos por depósitos de rañas, constituidos por cantos de cuarcita redondeados con arcillas sabulosas rojizas y arenas.

Las arcillas dan por difracción de Rayos- X como componente mayoritario la illita y, como minoritario la caolinita en diferentes grados de cristalización, apareciendo en

algunas muestras clorita en pequeña proporción. Estas arcillas se encuentran normalmente degradadas en interestratificados irregulares que nos indican condiciones de drenaje deficientes.

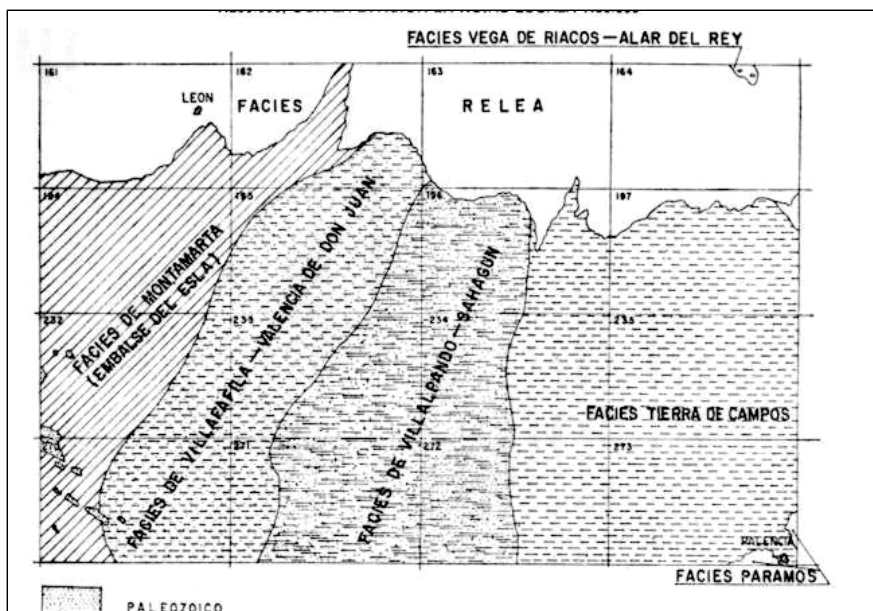


Fig. 64: Esquema de distribución de Facies de la hoja nº 19 a escala 1:2000.000, con la dimisión en hojas escala 1:50.000.

Los terrenos cuaternarios están formados por las terrazas de los ríos y el aluvial reciente de los mismos, además de un suelo bastante humificado.

El sistema de terrazas [92] se desarrolla casi exclusivamente en la margen derecha del río Carrión, aguas abajo, lo que nos indica la continua disimetría que ha presentado y presenta dicho río. Dado el clima actual de precipitaciones en invierno (principalmente en las montañas) con crecidas de los ríos, el poder erosivo de éstos, llegan incluso al transporte de gravas.

La sedimentación se produce en lugares de pequeño gradiente topográfico del valle fluvial y en las cálidas de los barrancos.

Los valores de pH que presenta este suelo oscila entre 7.3 y 8.7.

Los minerales pesados más abundantes, son los opacos y alteritas, apareciendo a continuación como más importantes turmalina y circón, y en menos proporción andalucita, rutilo y estaurolita.

Suele ser bastante frecuente la presencia de paleosuelos intercalados que corresponden a suelos marmorizados tipo pseudogley.

3.2. CATALOGACIÓN

La catalogación tiene como objetivo crear una base de datos de los objetos y piezas que se van a estudiar, ya que algunas muestras serán sometidas a pruebas destructivas. Para ello, se realizó una pesada de las piezas procedentes de la villa de La Tejada, que nos indicará de forma totalmente cualitativa, la cantidad de masa metálica de cada una de las piezas. Además de tener en cuenta la masa metálica combinada o no con fases minerales, fueron perfectamente establecidas las dimensiones de todas las piezas registrando su aspecto físico externo mediante técnicas fotográficas.

3.3. CONSOLIDACIÓN

El objetivo de la consolidación, es el de evitar pérdidas de material procedente de los fenómenos de corrosión a los que los objetos metálicos están sometidos cuando éstos están enterrados a lo largo del tiempo [93].

Es importante esta etapa previa de consolidación, ya que estas pátinas nos proporcionarán una información muy valiosa sobre el proceso y mecanismo de corrosión que han sufrido estas piezas enterradas a lo largo de los siglos [94].

Algunas de las piezas estudiadas fueron suministradas ya consolidadas con cera microcristalina, la cual se desprende fácilmente con la aplicación de una fuente de calor [95]. Las piezas restantes se consolidaron mediante inmersión de las mismas en una solución de polimetil de metacrilato de metilo diluido con tolueno [96], que cumple la función de hacer más fluido al consolidante y conseguir de esta manera que el líquido penetrase por todos los poros y grietas de las piezas, garantizando así la menor pérdida de material. El polímero se endurece por evaporación del disolvente. El recubrimiento obtenido es una fina capa de muy pocos micrómetros de espesor que se adhiere a las pátinas del metal base y que no interfiere en los posteriores ensayos que se llevaron a cabo sobre las piezas.

3.4. TÉCNICA CARACTERIZACIÓN QUÍMICA. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Para identificar y conocer la composición de las fases cristalinas presentes en las pátinas y tierras que acompañaban a las piezas, se utilizó la técnica de difracción de rayos X [93].

El equipo utilizado fue un Philips X'Pert, que utiliza como fuente de rayos X la radiación $K\alpha_1$ del Cu ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$). El voltaje es de 45 kV., la intensidad son 40 mA, y utiliza un monocromador curvado de Cu.

La identificación de los difractogramas se realizó con los programas DRXWin y Creafit, que utiliza como base de datos las fichas ASTM.

Las muestras analizadas fueron tanto las tierras que acompañaban a las piezas cuando nos fueron entregadas, donde se encontraban pátinas de las piezas que por su fragilidad se habían desprendido, como las pátinas que quedan adheridas a las piezas después de la etapa de consolidación, que fueron estudiadas en las diferentes secciones que se realizaron para la caracterización de las piezas.

A las muestras en polvo recogidas se les homogeneizó el tamaño de grano mediante la utilización de un mortero de ágata. Las muestras de pátinas adheridas se analizaron cuando ya estaban preparadas para el ataque metalográfico.

3.5. TÉCNICAS CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Una vez consolidadas las piezas se procedió a realizar la caracterización microestructural de las mismas, utilizando para ello técnicas de radiología, de microscopía óptica y de microscopía electrónica de barrido. Además, esta última técnica lleva incorporado un espectrómetro de dispersión de energías de rayos X, dando la posibilidad de analizar la composición química de las fases que están siendo observadas.

3.5.1. Examen Radiológico

Algunas de las piezas objeto de estudio fueron sometidas a un estudio radiológico, como primer análisis no destructivo [97]. Con este tipo de técnica se pretendió obtener información de los posibles defectos, grietas, poros, montajes internos (cuñas, remaches, soldaduras, etc.) y distintas fases que presentasen las piezas, además de descubrirnos la perfección artesanal y los fenómenos de degeneración e imitación, y llevar a cabo un mejor conocimiento de las reglas de fabricación [52].

Este tipo de técnica, está basada en el mayor o menor coeficiente de absorción de las distintas fases o defectos al paso de un haz de rayos X.

En 1895, el físico alemán W. C. Röntgen (Nóbel 1901) descubrió el principio de los rayos X, que permiten obtener imágenes, a través de los objetos opacos. La penetración de los rayos X depende de la densidad de la muestra, de la intensidad de los rayos y del tiempo de pausa.

El ensayo radiológico se obtuvo con un sistema de rayos X móvil, de potencial constante, modelo Phillips MG 161 L.

Se empleó un foco fino (6 mmA), lo cual nos permite tener una mayor profundidad, y una tensión de 160 kV con tiempos de exposición variables en función del espesor de las piezas. Así, de esta forma, se recoge una imagen radiográfica, denominada radiografía, en película radiológica común de doble capa de emulsión [98].

3.5.2. Microscopía Óptica

Mediante microscopía óptica es posible observar las variaciones microestructurales introducidas por la aplicación de los tratamientos térmicos y mecánicos en los materiales, así como la estructura del metal con sus diversos elementos o fases [52].

Para la realización del estudio microestructural mediante microscopía óptica, se utilizó un banco metalográfico de la marca Olympus usando objetivos de 12.5; 25 y 50 aumentos y un ocular con cuatro posibilidades de ampliación, pudiéndose obtener hasta 1000 aumentos, acoplándose para la adquisición de las micrografías una cámara digital de vídeo Cemtys YCH-03.

El programa utilizado para la captura de micrografías por ordenador es el TVIEWER98.

La preparación metalográfica de las probetas, para su observación posterior, se realizó siguiendo el proceso siguiente:

A.- Preparación

Una vez consolidadas las piezas, se obtuvieron las secciones transversales y longitudinales de las superficies objeto de estudio.

Esta etapa se realizó teniendo en cuenta la experiencia en el estudio de piezas similares y, anteriores estudios arqueometalúrgicos que habían sido llevado a cabo [98]. Además, se tuvo en cuenta la importancia de este estudio en el conocimiento del avance tecnológico a lo largo de nuestra historia. Evitándose en todo momento la toma de muestras innecesarias.

Para el corte de las piezas se utilizó una tronzadora tipo TR60 de la casa Remet, que incorpora un sistema refrigerante-lubricante de agua-taladrina.

B.- Embutición.

Las secciones obtenidas se embebieron en una resina termoestable de tipo Epoxi que utiliza para su curado un catalizador.

Esta operación cumple dos objetivos importantes, por un lado el de soporte metalográfico y, por otro, el de evitar el deterioro de las pátinas de corrosión.

C.- Desbaste.

Este proceso de preparación superficial se realiza mediante la fricción (lijado) sobre papeles abrasivos de SiC, cuya granulometría se varió de 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 y 1600 (Buehler), llegando a obtener una rugosidad superficial de las piezas Ra de 0.2 μm .

El objetivo que cumple esta operación es el de disminuir al máximo el número de irregularidades y tensiones que presenta la superficie objeto de estudio.

El equipo utilizado en este proceso es una pulidora metalográfica Micropol-I y utilizando un medio de lubricación acuoso.

D.- Pulido.

El pulido es la última operación en la preparación metalográfica y tiene como objetivo, el conseguir una superficie especular para poder ser estudiada posteriormente en el microscopio.

Se realiza con abrasivos en paño de nylon, sobre disco giratorio y utilizando como lubricante un medio acuoso. El proceso se inicia, usando en la fase previa alúmina ϕ de granulometría entre 3 y 1 μm , seguidamente alúmina ϕ entre 0.5 y 0.3 μm y, por último, se aplica un pulido final con un producto de la marca Buehler llamado Masterpolish que es un gel de sílice-alúmina en medio básico.

El equipo utilizado en este proceso es una pulidora Micropol-I.

E.- Limpieza y desengrasado.

Las superficies pulidas se limpiaron mediante inmersión en agua jabonosa y aclarado con agua. El proceso de secado se realiza mediante una corriente de aire caliente previa inmersión de la probeta en isopropanol.

Con este proceso se eliminan los restos de lubricantes en etapas anteriores.

Cabe destacar la importancia del secado de estas probetas de material arqueológico que incluyen óxidos, tierras, pátinas,..., ya que pueden reaccionar electrolíticamente con el medio acelerándose su proceso de corrosión.

F.- Ataque.

Con el ataque metalográfico se revela la microestructura de estas probetas.

El ataque metalográfico de las probetas consiste en la inmersión de las mismas en una solución apropiada para cada material: Reactivo Nital (solución alcohólica de Nítrico en Etanol (2%) 99%) en el caso de materiales férreos, ó Cloruro férrico en medio alcohólico para piezas de bronce o cobre.

Las probetas una vez revelada su microestructura se lavaron con agua jabonosa, posteriormente con alcohol y, por último se secaron con aire caliente.

3.5.3. Microscopía Electrónica De Barrido

La técnica de microscopía electrónica de barrido permite una observación, mediante la imagen artificial visualizada en una pantalla, de una profundidad de campo más ajustada (10 a 10000 aumentos), respecto a la técnica de microscopía óptica.

La preparación superficial llevada a cabo sobre las probetas estudiadas, es idéntica a la utilizada en microscopía óptica, y únicamente es necesario recubrir la superficie, una vez atacada químicamente, con una capa fina de Au ($\approx 200 \text{ \AA}$) con el fin de mejorar la conductividad, de la muestra.

Se emplearon dos microscopios electrónicos de barrido, un JEOL JSM-35C con una resolución de 60 \AA y un JEOL JSM-6400 con poder resolutivo de 35 \AA .

3.5.4. Espectrometría Dispersión Rayos X

Acoplando un microanalizador al microscopio electrónico de barrido se puede realizar un análisis de composición química de zonas muy precisas de la superficie del objeto de estudio permitiendo obtener la identificación de elementos que componen las distintas fases.

Los equipos utilizados son, un microanalizador de la marca KEVEX (7077) y el programa Röntec de microanálisis, y el otro marca OXFORD, con el programa de adquisición de datos INCA con una resolución de 138 eV a 5.39 KeV .

3.6. TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA. DUREZA VICKERS

La dureza del metal es definida como la resistencia que el metal opone a la penetración de otro cuerpo más duro [52].

La técnica de medida mediante dureza Vickers emplea un penetrador de diamante, de extremo piramidal y base cuadrada, y con un ángulo distal de 136° . Deja una impronta en el material objeto de estudio, definida por las diagonales d (mm). La dureza Vickers, HV, es igual a la relación $1.854P/d^2$, donde P es la fuerza que se ejerce sobre el

penetrador, expresada en Kg. La determinación de la dureza se efectúa a partir de la marca o impronta resultante que es observada al microscopio y se mide; esta medida es entonces convertida en un número de dureza. Es necesario que la superficie de la muestra haya sido preparada cuidadosamente (mediante desbaste y pulido) para poder asegurar una huella que pueda ser medida con exactitud [100].

El conocimiento de la dureza del metal nos permite conocer tanto la finalidad tecnológica del material ensayado, conformado del material, como la funcionalidad, que objetivo de uso posee.

El equipo utilizado es un AKASHI AVK-AII, con un indentador Vickers aplicándose una carga de 10 Kg y 15 s de penetración.

En algunas muestras las medidas de dureza se tomaron cada 1.5 – 3 mm, para obtener perfiles de dureza de las piezas. En otras muestras, debido a su pequeño tamaño, se tomaron medidas aisladas.

62. Fig. : Esquema del procedimiento experimental llevado a cabo en el presente trabajo.
63. Fig. : Detalle de la zona objeto de estudio de la hoja nº 19 a escala 1:2000.000 del Mapa Geológico de España, León.
64. Fig. : Esquema de distribución de Facies de la hoja nº 19 a escala 1:2000.000, con la dimisión en hojas escala 1:50.000.

90. L. URAN. "Observations métallographiques sur les épées celtiques en fer". Aquitania. Supplément. Número 1. (1986). pp: 299 - 308.
91. "Mapa Geológico de España. E. 1:200.000. 19. León". Ed. Departamento de publicaciones del instituto geológico y minero de España. (1970).
92. "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. 197 (16-10). Carrión de los Condes". Ed. Servicio de publicaciones ministerio de industria y energía. (1982).
93. "L' Age du fer en Aquitaine". J. P. MOHEN. Ed Mémoires de la société préhistorique française. Tome 14. (1980). pp: 35 - 48.
94. W. MOUREY. "La conservation des antiquités métalliques. De la fouille au musée". LCRRA. (1987). pp: 307- 308.
95. Pascoe M. W. Organic coatings for iron: A review of methods. National Maritime Museum. Greenwich. London. Maritime Monographs and reports. Nº 53. 1982. pp:56- 57.
96. Hjelm-Hansen, N. Van Lanschot, J. Szalkay, C. D. and Turgoose, S. Electrochemical assessment and monitoring of stabilisation of heavily corroded archeological iron artefacts. Corrosion Science Vol. 35 Nº 1-4, pp: 767-744, 1993.
97. Corfield M. Radiography of archaeological ironwork. National Maritime Museum. Greenwich. London. Maritime Monographs and reports. Nº 53. 1982. pp:8- 14.
98. MADROÑERO DE LA CAL. "Aplicación de las técnicas arqueometalúrgicas en la identificación e interpretación de los restos de soliferrums". Kalathos. Nº 3 - 4. Ed. S.A.E.T. (1984). pp: 139 - 148.
99. "Metalografía práctica". F. A. CALVO. Ed. Alhambra. (1971).
100. Callister. Introducción a los materiales

52. "Metalurgia prehistorica. Introducción a la paleometalurgia". J. P. MOHEN. Ed. Masson. (1992).

4. *RESULTADOS Y DISCUSIÓN*

4.1 PIEZAS DE LA VILLA DE LA OLMEDA

Las piezas extraídas en la villa palentina de La Olmeda que han sido estudiadas en el presente trabajo fueron un total de 21 objetos.

Se tratan en su totalidad, de piezas de naturaleza férrea si excluimos un cencerro que posee una naturaleza de base cobre y base férrea.

Las piezas fueron catalogadas según el inventario de objetos metálicos de la villa romana de La Olmeda en Pedrosa de la Vega, donde queda recogida la naturaleza de fabricación de la pieza, el nombre del objeto, el grupo de clasificación, la descripción, medidas y zona de hallazgos.

Los grupos de clasificación, en este catálogo, propuestos son;

Grupo nº 1.- Ajuar Personal.

- ✍ Joyas.
- ✍ Accesorios Vestimenta.
- ✍ Adornos.

Grupo nº 2.- Utillaje Doméstico.

- ✍ Vajilla.
- ✍ Recipientes.
- ✍ Muebles.
- ✍ Accesorios.

Grupo nº 3.- Atalajes Caballerías.

- ✍ Camas de Bocado.
- ✍ Adornos de Bidas.

Grupo nº 4.- Armas.

- ✍ Puñal / Cuchillo.
- ✍ De caza.

Grupo nº 5.- Herramientas.

- ✍ Aperos de labranza.
- ✍ Herramientas de oficios.

Grupo nº 6.- Estatuaría Mueble.

Seguidamente se exponen, para cada una de las piezas, los resultados obtenidos mediante las técnicas de caracterización y se propone una simulación del procedimiento tecnológico llevado a cabo en su fabricación.

4.1.1 Cencerro

4.1.1.1. CATALOGACIÓN

El cencerro es una de las piezas encontradas en el patio, habitación 3-7, de la villa.

Se incluyó dentro del grupo número 3, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de atalajes de caballería, ya que se supone su utilización



como cencerro de ganadería. *Fig.65: Objeto catalogado como cencerro.*

El cencerro (Fig. 65) es una pieza ovalada y hueca en su interior y cuyas dimensiones se recogen en la tabla VII. En el extremo superior (el más estrecho) posee un asa. Presenta pátinas de tono rojizo y verdoso.

Tabla VII: Dimensiones del Cencerro.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)		
	Asa	Cuerpo	
Longitud	25.31	103.7	
Ancho	17 – 19.8	Zona Asa	42 – 66
		Zona Externa	39 - 70
Grosor	18	2 – 7.5	

4.1.1.2. CARACTERIZACION QUÍMICA

Las tierras que acompañaban esta pieza han sido analizadas mediante difracción de rayos X, obteniéndose el difractograma de la figura 66.

Los picos del difractograma quedan identificados como cuarzo (SiO_2) y calcita (CaCO_3) (Tabla VIII). Ambos son componentes habituales de las tierras y arenas donde queda asentado el yacimiento.

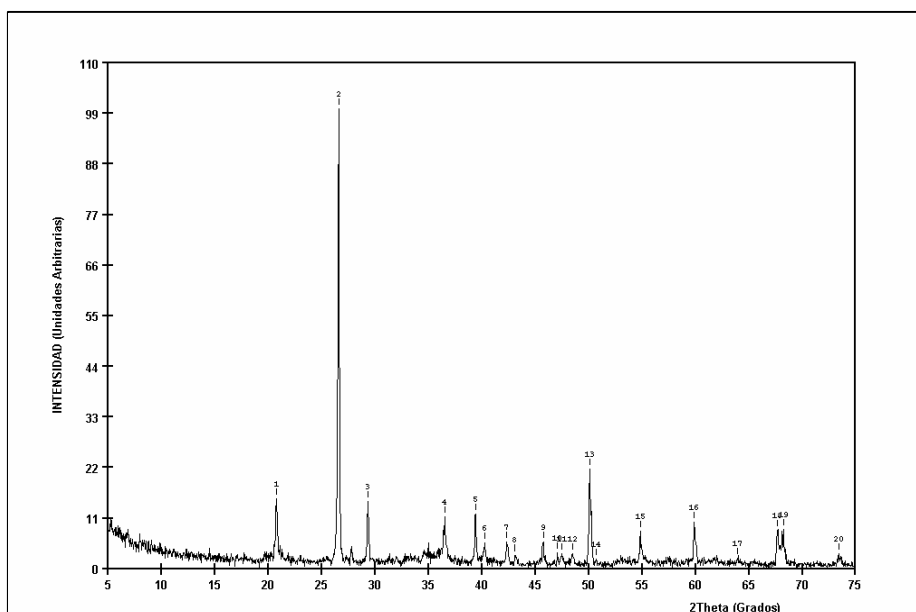


Fig. 66: Difractograma de las tierras recogidas junto al cencerro.

Tabla VIII: Identificación de los picos del difractograma de tierras que acompañan al cencerro.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.74	4.283	15.23	SiO ₂	33-1161	1	0	0
2	26.58	3.354	100	SiO ₂	33-1161	1	0	1
3	29.30	3.048	14.63	CaCO ₃	72-1650	1	0	4
4	36.54	2.459	11.59	SiO ₂	33-1161	1	1	0
5	39.42	2.286	8.7	SiO ₂	33-1161	1	0	2
6	40.26	2.240	5.64	SiO ₂	33-1161	1	1	1
7	42.34	2.135	5.88	SiO ₂	33-1161	2	0	0
8	43.10	2.099	3	CaCO ₃	72-1650	2	0	2
9	45.78	1.982	5.88	SiO ₂	33-1161	2	0	1
10	47.10	1.929	3.48	CaCO ₃	72-1650	0	2	4
11	47.50	1.914	3.24	CaCO ₃	72-1650	0	1	8
12	48.46	1.878	3.24	CaCO ₃	72-1650	1	1	6
13	50.10	1.821	21.7	SiO ₂	33-1161	1	1	2
14	50.74	1.799	2.04	SiO ₂	33-1161	0	0	3
15	54.82	1.675	8.15	SiO ₂	33-1161	2	0	2
16	59.90	1.544	10.07	SiO ₂	33-1161	2	1	1
17	63.94	1.456	2.28	SiO ₂	33-1161	1	1	3
18	67.66	1.385	8.39	SiO ₂	33-1161	2	1	2
19	68.26	1.374	8.51	SiO ₂	33-1161	2	0	3
20	73.42	1.290	3.36	SiO ₂	33-1161	1	0	4

El cuarzo identificado (33-1161) cristaliza en el sistema hexagonal con parámetros de red; $a = 4.9133 \text{ Å}$ y $c = 5.4053 \text{ Å}$. Mientras que la calcita (72-1650) lo hace en el sistema romboédrico de parámetros de red: $a = 4.99300 \text{ Å}$ y $c = 16.91700 \text{ Å}$.

También se ha realizado un análisis mediante difracción de rayos X de las pátinas que quedaron adheridas a la pieza, después de su consolidación (Fig. 67).

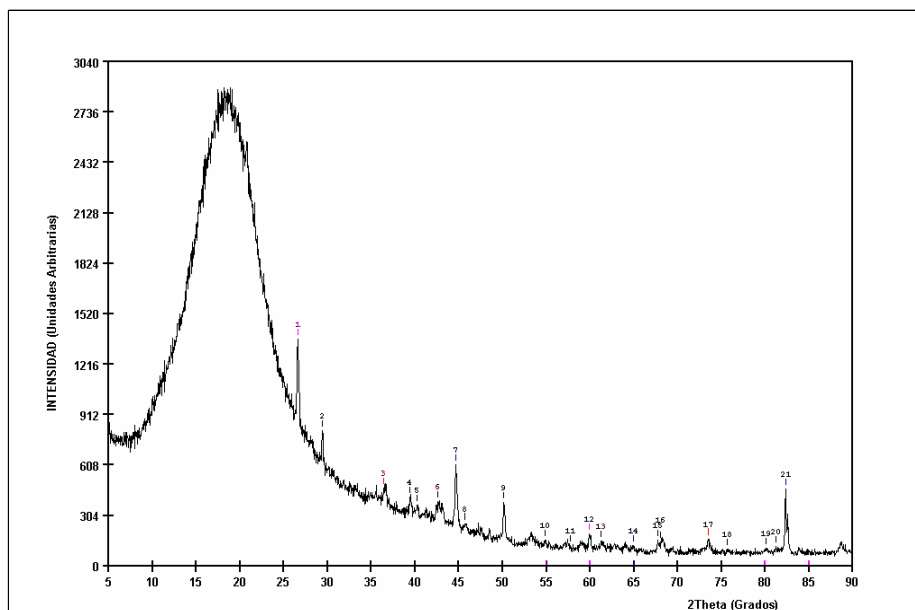


Fig. 67: Difractograma de las pátinas adheridas al cencerro.

En el difractograma se presentan picos de intensidad que quedan identificados como cuarzo (SiO_2), hierro (Fe) y cuprita (Cu_2O) (Tabla IX).

Tabla IX: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al cencerro.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2θ)	Espaciado. (\AA)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.58	3.354	100	SiO_2	33-1161	1	0	1
2	29.42	3.036	40.08	Cu_2O	78-2076	1	1	0
3	36.42	2.467	37.89	SiO_2	33-1161	1	1	0
4	39.38	2.288	26.98	SiO_2	33-1161	1	0	2
5	40.22	2.242	17.86	SiO_2	33-1161	1	1	1
6	42.62	2.121	24.80	Cu_2O	78-2076	2	0	0
7	44.62	2.031	74.01	Fe	06-0696	1	1	0
8	45.70	1.985	12.50	SiO_2	33-1161	2	0	1
9	50.14	1.819	46.43	SiO_2	33-1161	1	1	2
10	54.86	1.673	14.68	SiO_2	33-1161	2	0	2
11	57.74	1.597	8.13	SiO_2	33-1161	2	1	0
12	59.90	1.544	23.01	SiO_2	33-1161	2	1	1
13	61.26	1.513	13.69	Cu_2O	78-2076	2	2	0
14	64.90	1.437	8.93	Fe	06-0696	2	0	0
15	67.66	1.385	15.08	SiO_2	33-1161	2	1	2
16	68.06	1.378	12.69	SiO_2	33-1161	2	0	3
17	73.46	1.281	16.67	Cu_2O	78-2076	3	1	1
18	75.62	1.250	3.97	SiO_2	33-1161	3	0	2
19	80.02	1.199	5.16	SiO_2	33-1161	2	2	1
20	81.18	1.185	7.34	SiO_2	33-1161	1	1	4
21	82.30	1.172	75.79	Fe	06-0696	2	1	1

La cuprita identificada (78-2076) cristaliza en el sistema cúbico con parámetro de red: $a = 4.267 \text{ \AA}$, y el hierro (06-0696) lo hace en el sistema cúbico con parámetro de red $a = 2.8664 \text{ \AA}$.

Como se ha visto en el difractograma de la tierras, el cuarzo es un componente habitual de las arenas de la zona, que también se va a presentar adherido en las pátinas. La presencia de cuprita en las pátinas adheridas al cencerro justifica el color verdoso de las mismas. El hierro indica la naturaleza metálica de la pieza.

4.1.1.3. CARACTERIZACION MICROESTRUCTURAL

Dada la complejidad en la naturaleza metálica de la pieza, observada por su aspecto exterior, fue necesario someterla a un análisis mediante rayos X.

En la radiografía frontal (Fig. 68) se aprecia que el asa y el cuerpo del cencerro son dos piezas independientes. Además, en el cuerpo de esta pieza se aprecia una discontinuidad metálica desde la zona de asa hasta la base del cencerro asociada, bien a una soldadura longitudinal, bien a la existencia de un badajo. Por último, destaca la presencia de metales de distinta naturaleza manifestado por las láminas de diferente tonalidad, tanto alrededor del cuerpo (transversalmente) como en la zona superior del mismo, donde esta alojada el asa.

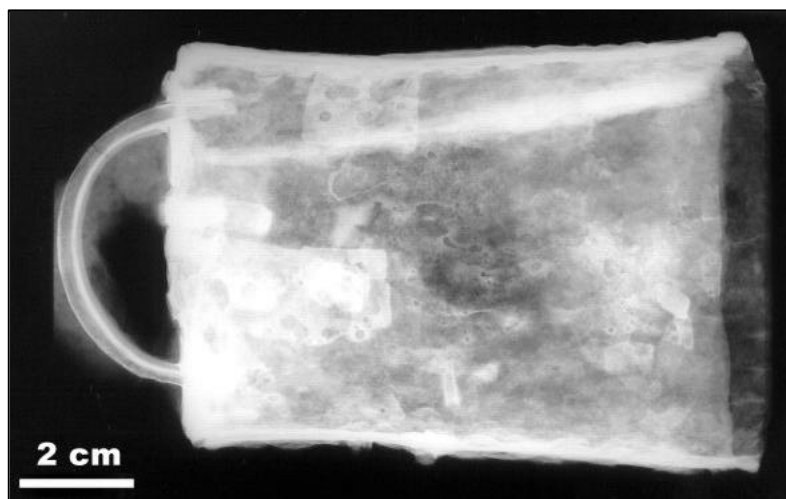


Fig. 68: Radiografía frontal del objeto.

La radiografía lateral (Fig. 69) indica que es posible la soldadura de dos medias campanas en esta zona.

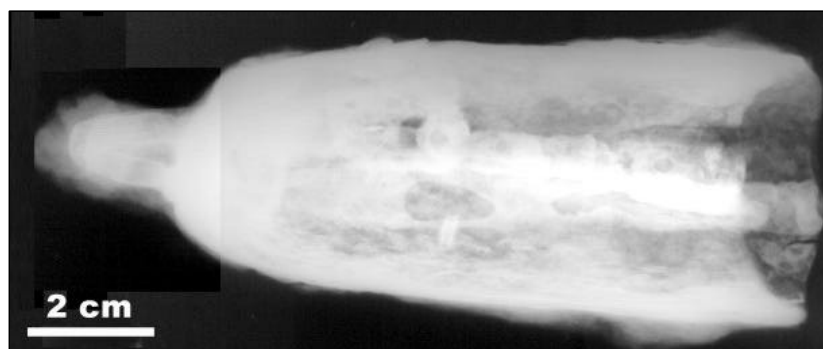


Fig. 69: Radiografía lateral del objeto.

Una vez establecidas las disposiciones de las láminas metálicas que constituyen el objeto, mediante técnicas radiográficas, fueron realizadas las secciones transversales del mismo para ser estudiadas mediante microscopía óptica y electrónica de barrido.

La sección transversal de la zona central, muestra la presencia de dos metales de diferente naturaleza y dispuestos en forma laminar. Su presencia no es continuada, sino que hay zonas a lo largo de la sección donde una de las láminas ha desaparecido (Figs. 70, 71).

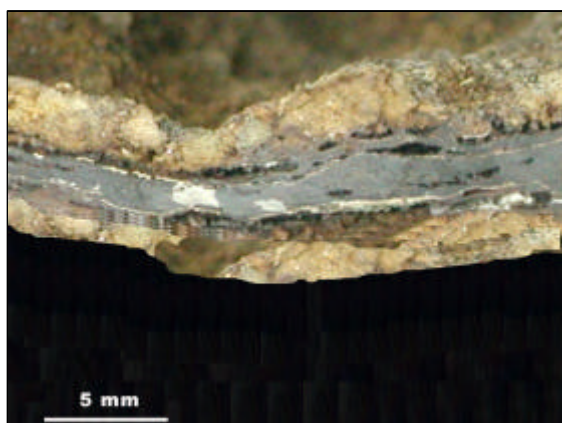


Fig. 70: Sección transversal del cencerro. Disposición laminar metálica.

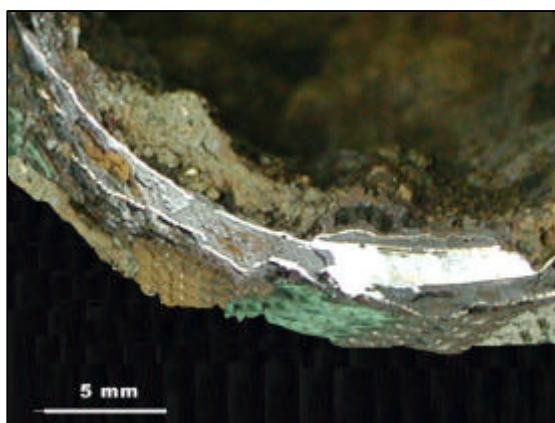


Fig. 71: Metales de distinta naturaleza en disposición laminar.

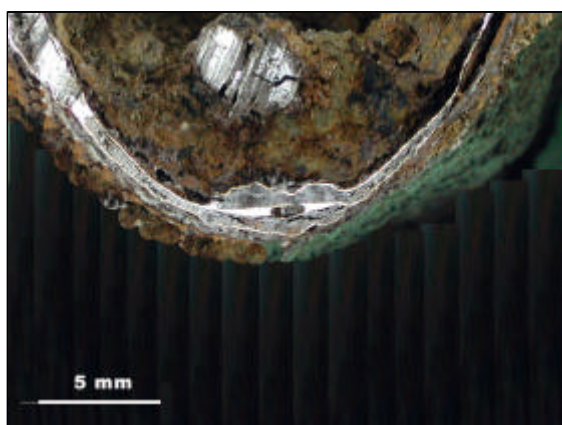


Fig. 72: Masa metálica embebida en tierras, situada en la zona interior de la pieza.

Por otro lado, se aprecia una masa metálica adherida en una de las paredes mediante una masa cementante de tierras y que debe ser el badajo de la pieza (Fig. 72).

El badajo muestra una grieta, hueco o falta de material longitudinal en la zona central de su sección transversal (Fig. 73). La microestructura que presenta es la de un acero de bajo contenido en carbono con carburación de las zonas externas (Fig. 74).

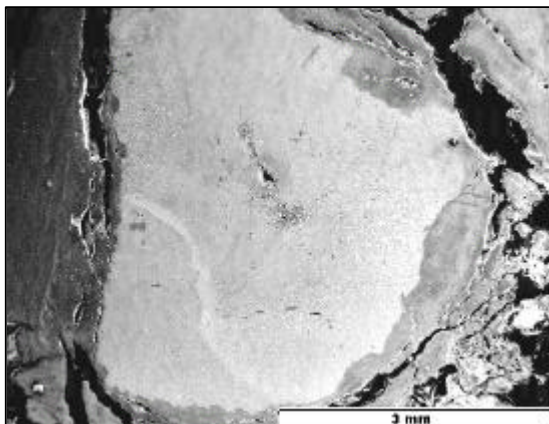


Fig. 73: Macrografía del badajo.

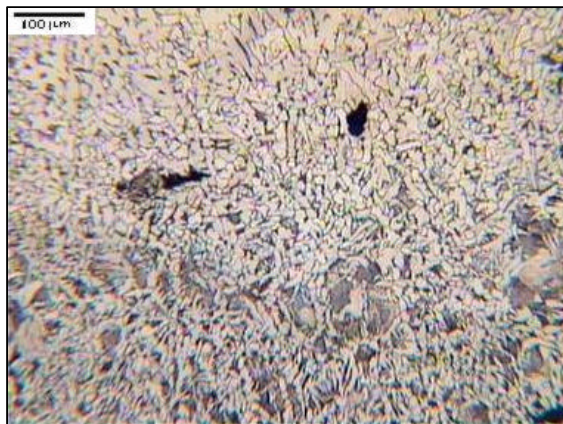


Fig. 74: Microestructuras de acero con distinto contenido en carbono.

Las zonas internas poseen una microestructura ferrítica con numerosas escorias y huecos (Fig. 75), mientras que las externas, más carburadas, poseen una microestructura, de acero hipoeutectoide, ferrítico – perlítica (Fig. 76). No se aprecian restos de soldadura de láminas de distinto contenido en carbono, lo que indica que los diferentes contenidos en carbono que presenta la sección son debidos a un proceso termoquímico de carburación, por lo que el badajo está fabricado de una sola pieza.

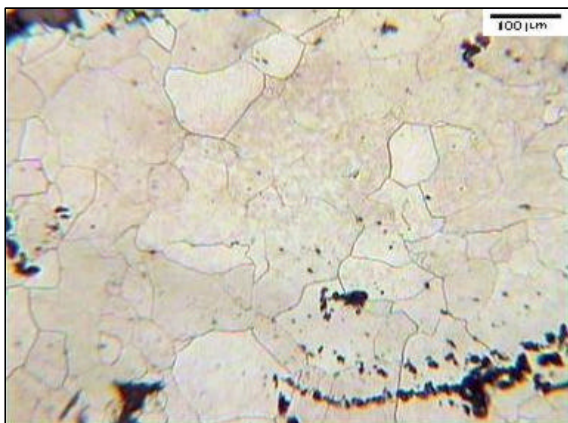


Fig. 75 : Microestructura de hierro ferrítico con escorias, inclusiones y huecos. Centro de badajo.

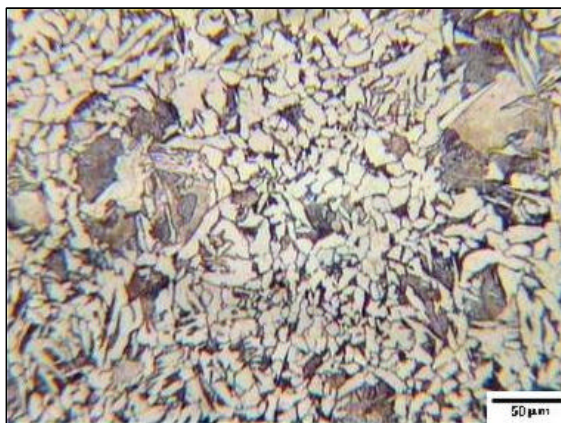


Fig. 76: Microestructura de acero hipoeutectoide, ferrítico perlítica. Zona periférica del badajo

El cuerpo del cencerro está compuesto de láminas de metales de distinta naturaleza, que se muestran dispuestas sobre numerosos productos de corrosión (Fig. 77). Por ser una microestructura tan variada y diversa, se han estudiado cada una de las zonas señaladas en la figura 77.

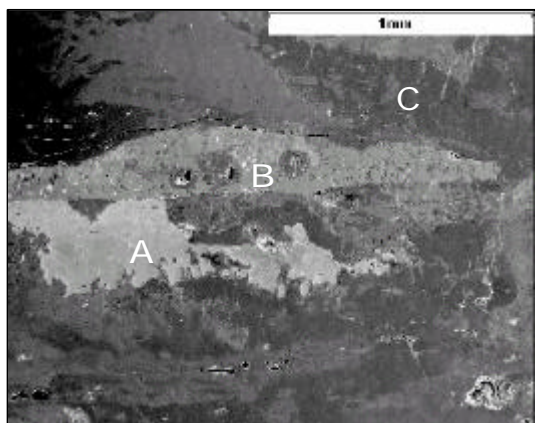


Fig. 77: Micrografía de las láminas que conforman el cencerro.

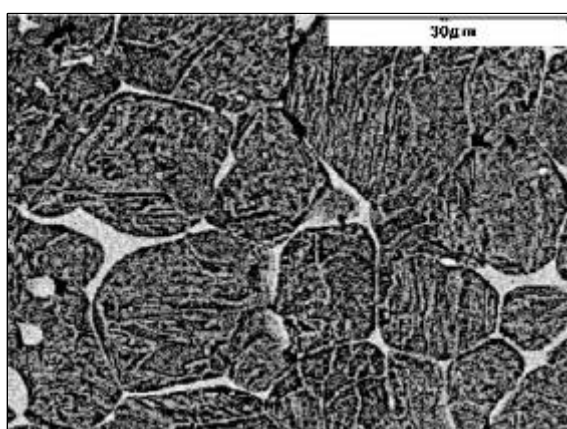


Fig. 78: Detalle de figura 77 en la zona denominada como A.

Tabla X: Composiciones de las fases presentes en la figura 78.

ELEMENTO	% EN PESO	
	Matriz	Límite de grano
Fe	90.28	8.73
Cu	9.72	82.95
Sn	-	7.57
Si	-	0.75
Total	100.00	100.00

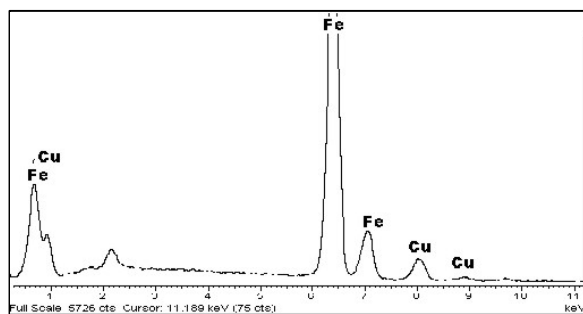


Fig. 79: Análisis EDS de la matriz de la figura 78.

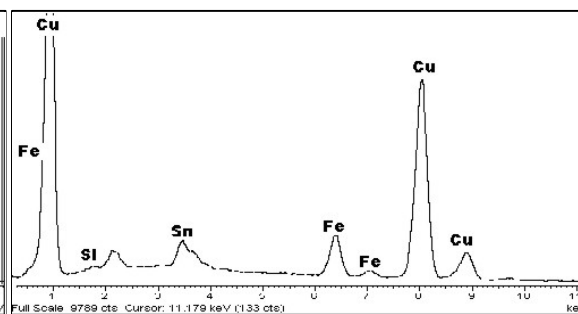


Fig.80 : Análisis EDS de los límites de grano, de la figura 78.

La zona denominada B (Fig. 77), presenta una microestructura heterogénea de fases globulares, sobre una matriz de naturaleza homogénea (Fig. 81).

Las inclusiones o fases globulares poseen una naturaleza metálica férrea (Fig. 82), mientras que la matriz está formada (Fig. 83) por bronce de estaño como elementos mayoritarios de la aleación (Tabla XI).

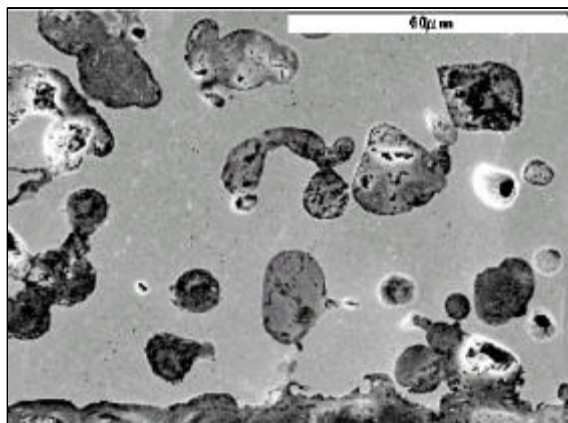


Fig. 81: Detalle de figura 77 en la zona denominada como B.

Tabla XI: Composiciones de las fases presentes en la figura 81.

ELEMENTO	% EN PESO	
	Inclusiones	Matriz
Fe	81.55	2.06
Cu	16.57	92.87
Sn	1.88	4.29
Si	-	0.77
Total	100.00	100.00

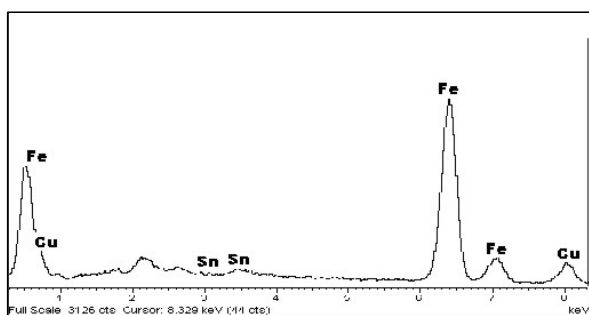


Fig.82 : Análisis EDS de las inclusiones de la figura 81.

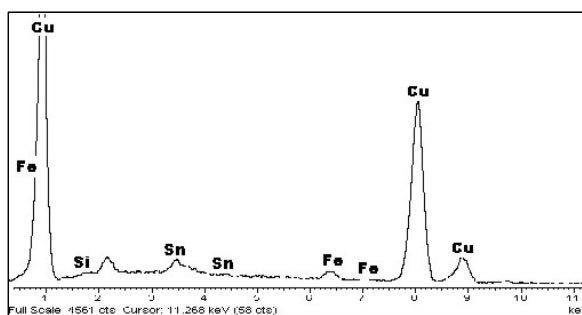


Fig. 83: Análisis EDS de la matriz de la figura 81.

Las zonas denominadas C (Fig. 77), presentan una microestructura similar a la que se presentaba en la zona A, pero las fases se muestran degradadas (Fig. 84). Las zonas de degradación están formadas por láminas de óxido de hierro (Fig. 85) y zonas con presencia de plomo (Fig. 86 y Tabla XII).

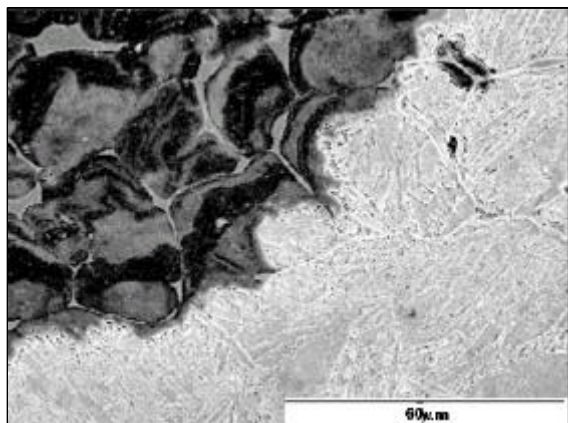


Fig. 84: Detalle de figura 77 en la zona denominada como C.

Tabla XII: Composiciones de las fases presentes en la figura 84.

ELEMENTO	% EN PESO	
	Negra	Gris
Fe	86.14	77.74
Cu	13.86	17.66
Pb	-	4.60
Total	100.00	100.00

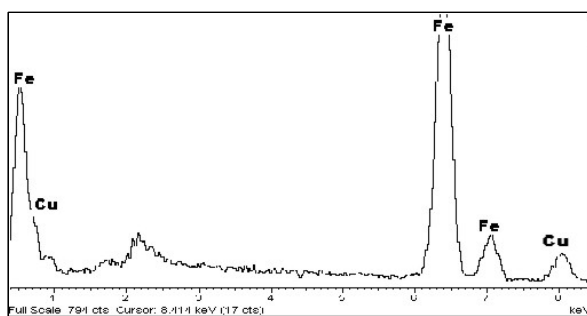


Fig. 85: Análisis EDS de las zonas de color negro presentes en la figura 84.

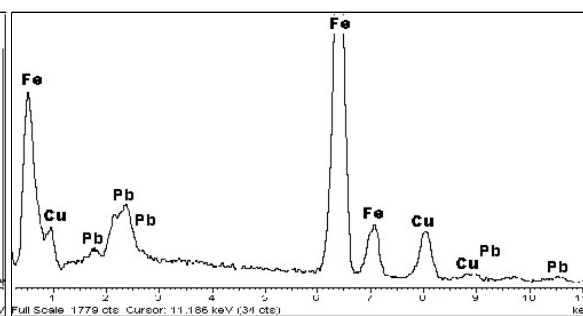


Fig. 86: Análisis EDS de las zonas de color gris de la figura 84.

Hay zonas de la sección transversal del cuerpo del cencerro donde se aprecia la lámina de acero, conformando mayoritariamente esta sección del objeto (Fig. 87). Este acero presenta una microestructura hipoeutectoide (Fig. 88).

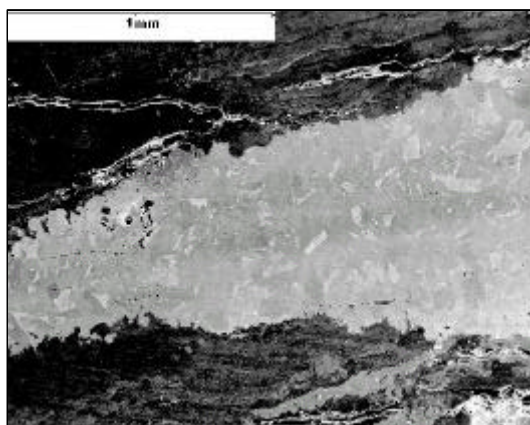


Fig. 87: Lámina de hierro entre productos de corrosión.

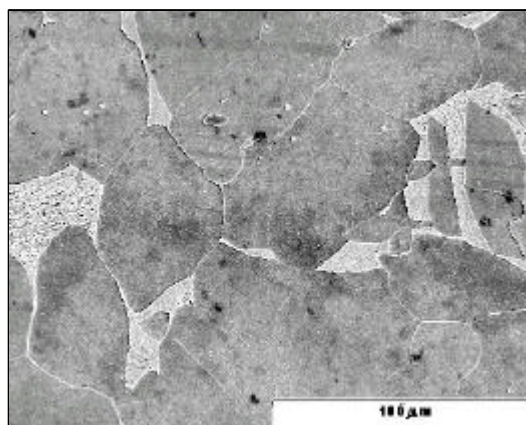


Fig. 88: Matriz ferrítico perlítica de acero hipoeutectoide.

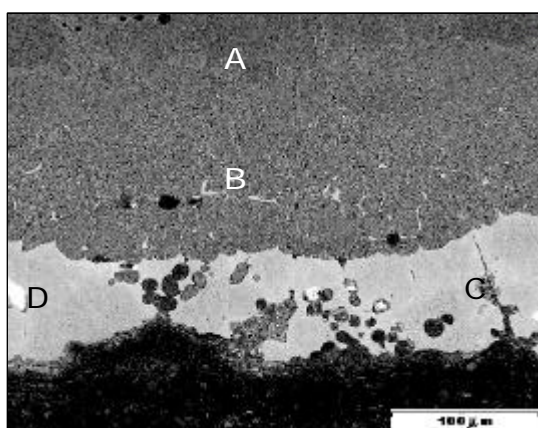


Fig. 89: Microestructura de coexistencia de láminas metálicas con diferente naturaleza.

En otras zonas de la sección transversal del objeto, aparecen láminas metálicas de distinta naturaleza dispuestas paralelamente (Fig. 89); una denominada C de bronce (Fig. 90) y otra denominada A de hierro (Fig. 91); ambas quedan interrelacionadas con una capa formada por una mezcla de las dos aleaciones (Fig. 92). La lámina de cobre contiene fases de distinta naturaleza (Fig. 93), formadas por cobre y plomo (insolubles entre sí) (Fig. 94) [101].

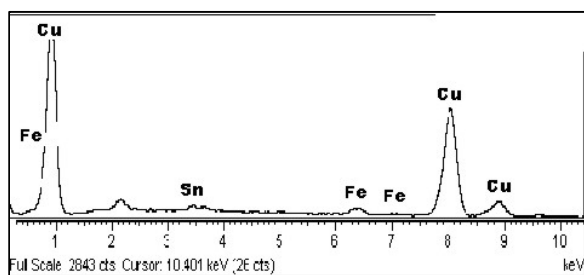


Fig. 90: Análisis EDS de las zona C de la figura 89.

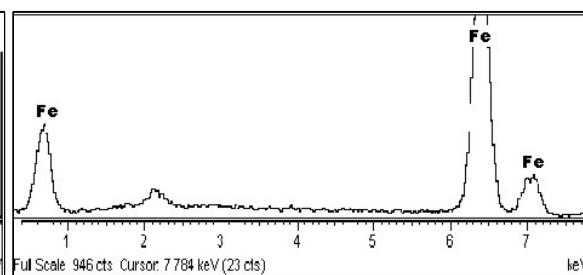


Fig. 91: Análisis EDS de las zona A de la figura 89.

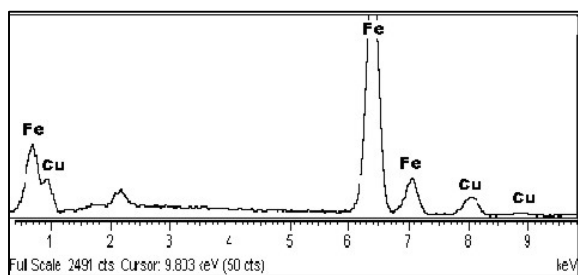


Fig. 92: Análisis EDS de las zona B de la figura 89.

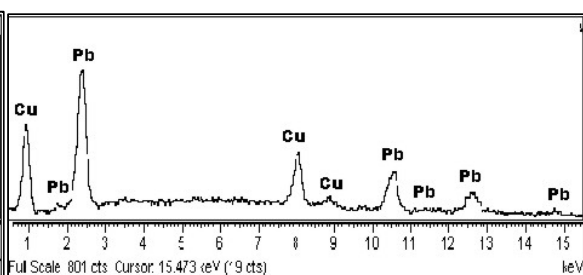


Fig. 93: Análisis EDS de las zona D de la figura 89.

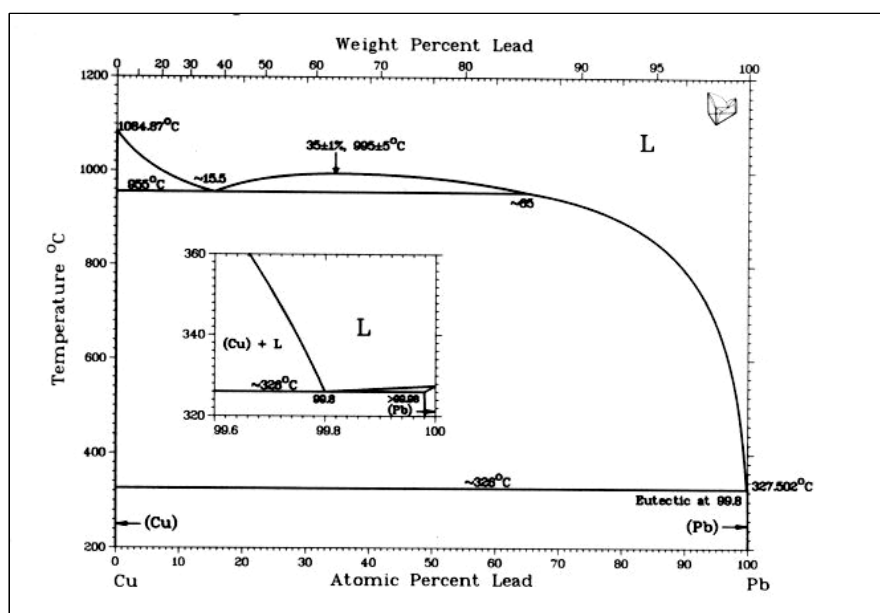


Fig. 94: Diagrama binario Cu- Pb.

4.1.1.4. CARACTERIZACION MECANICA

Los valores de dureza medidos en esta pieza (Fig. 95) indican medidas muy dispares. Así se presentan valores de las fases de bronce de 90 HV, valores en las láminas de hierro de 75 HV y zonas transformadas de 119 HV.

Por otra parte los valores de dureza practicados en el badajo son de 69 HV.

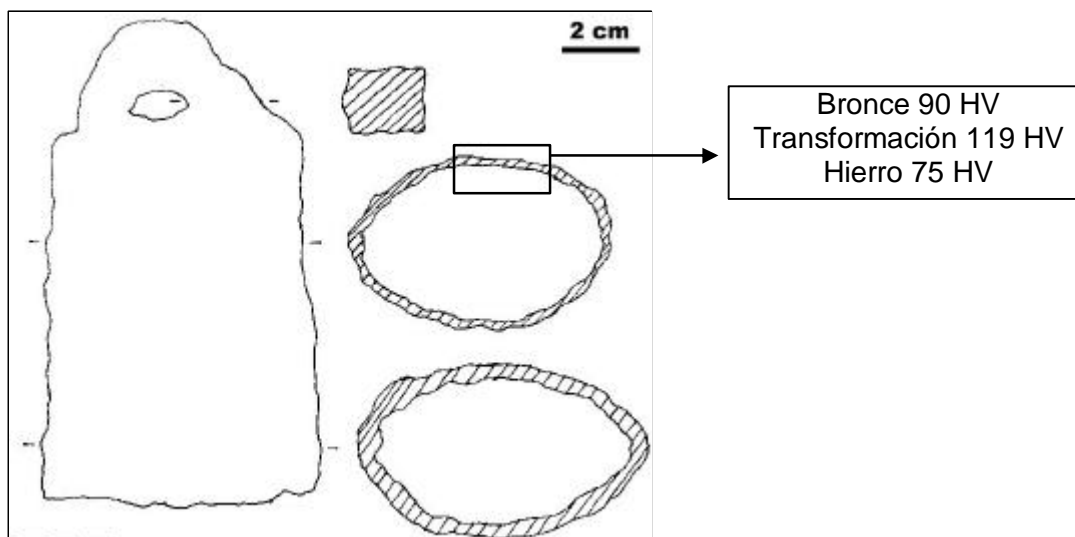


Fig. 95: Esquema del objeto junto con los valores de dureza Vickers en cada una de una de sus fases.

4.1.1.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método de fabricación utilizado en piezas similares, como por ejemplo en un cencerro celtíbero fue el de conformar una chapa presentándose lateralmente una unión longitudinal aparentemente soldada por forja [16].

En el caso que nos ocupa, el análisis radiológico nos causa contradicciones para dar una explicación al método de fabricación de esta pieza, ya que justifica tanto la posibilidad de fabricación a partir del plegado de una única lámina de hierro y soldadura lateral en una de sus caras, como la fabricación a partir de dos láminas plegadas y soldadura en ambas caras laterales del cencerro.

El equivoco no es posible al aclararlo mediante microscopía, ya que la soldadura longitudinal que se aprecia en la radiografía no es tal y se trata del badajo, como ha quedado corroborado anteriormente.

65. Fig.: Objeto catalogado como cencerro.
66. Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto al cencerro.
67. Fig.: Difractograma de las pátinas adheridas al cencerro.
68. Fig. : Radiografía frontal del objeto.
69. Fig. : Radiografía lateral del objeto.
70. Fig. : Sección transversal del cencerro.
71. Fig. : Metales de distinta naturaleza.
72. Fig. : Masa metálica embebida en tierras.
73. Fig. : Macrografía del badajo.
74. Fig. : Microestructuras de acero con distinto contenido en carbono.
75. Fig. : Microestructura de hierro ferrítico con escorias, inclusiones y huecos.
76. Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide, ferrítico perlítica.
77. Fig. : Micrografía de las láminas que conforman el cencerro.
78. Fig. : Detalle de figura en la zona denominada como A.
79. Fig. : Análisis de los elementos presentes en la matriz.
80. Fig. : Análisis de los elementos presentes en el límite de grano.
81. Fig. : Detalle de figura en la zona denominada como B.
82. Fig. : Análisis de los elementos que conforman las inclusiones.
83. Fig. : Análisis de los elementos presentes en la matriz.
84. Fig. : Detalle de figura en la zona denominada como C.
85. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zonas de color negro.
86. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zonas de color gris.
87. Fig. : Lámina de hierro entre productos de corrosión.
88. Fig. : Matriz ferrítico perlítica de acero hipoeutectoide.
89. Fig. : Microestructura de convivencia de metales de diferente naturaleza.
90. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zona C.
91. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zona A.
92. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zona B.
93. Fig. : Análisis de los elementos presentes en las zona D.
94. Fig.: Diagrama binario Cu- Pb.
95. Fig.: Esquema del objeto.

VII. Tabla : Dimensiones del Cencerro.

VIII. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cencerro.

IX. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al cencerro.

X. Tabla: Composiciones de las fases presentes en la figura .

XI. Tabla: Composiciones de las fases presentes en la figura .

XII. Tabla: Composiciones de las fases presentes en la figura .

16. Martín, A. Madroñero de la Cal, A. López V. *Arqueometalurgia del poblado celtibérico de "Los Castellares", de Herrera de los Navarros (Zaragoza). Kalathos 11-12. Teruel 1991-92, pp; 233-266.*

101. Binary alloy phase

Así, el proceso de fabricación del cencerro consistiría en:

- ✍ Una etapa previa de plegado de láminas de hierro, conformando las caras del cencerro.
- ✍ Soldadura de las costuras o laterales de la pieza.
- ✍ Inserción del asa mediante punzonado o previamente a la soldadura.
- ✍ Refuerzo del cuerpo del cencerro y de la zona del asa mediante la soldadura por forja de láminas de bronce.

Se trata de una metalurgia muy avanzada de soldadura mediante forja ya que hasta ahora, la aparición de materiales como el hierro y cobre (bronce) unidos se habían interpretado como un proceso aleatorio debido al tipo de hierro, hallstattico, utilizado en la fusión, Piritita de hierro [16].

Aunque se sabe que las aleaciones de bronce con más de un 20% de Sn, han sido utilizadas para aplicaciones concretas como campanas o espejos y que, su fabricación es mediante forja en caliente y temple, el método de fabricación utilizado en este caso es menos avanzado, ya que la aleación tiene menor contenido en estaño, si bien en general se aproxima a estos métodos [102].

4.1.2 Aguja Saquera

4.1.2.1. CATALOGACIÓN

La varilla con forma de aguja fue encontrada en el ala oeste, habitación 10-3, de la villa.

Se la denominó aguja saquera debido a su tamaño y morfología, adecuada en la confección de tejidos [103]. Por su utilidad, en la vida cotidiana de las personas que habitaron esta Villa de la época romana, se incluyó dentro del grupo número 2, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de utillaje doméstico.

Es una pieza estrecha, larga, de sección cuadrada y curvada en uno de sus extremos (Fig. 96), cuyas dimensiones se recogen en la tabla XIII. El extremo que no está curvado tiene una pequeña protuberancia, que bien podría ser el ojo para enhebrar la pieza, bien podrían ser tierras que acompañan a la pieza. Las pátinas que presenta el objeto tienen una tonalidad marrón parduzca.



Fig. 96: Objeto denominado Aguja Saquera.

Tabla XIII: Dimensiones de la Aguja Saquera.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	120,22
Ancho	2,1 - 4,8
Ángulo Curvatura	140°

Este objeto posee similitudes fisiológicas con las piezas halladas en los yacimientos explotados en Huelva [104], si bien el material con el que están fabricadas estas últimas agujas es el bronce.

También se han encontrado piezas similares en las vitrinas del Museo Arqueológico Nacional de Madrid, en cuanto a forma y a material de fabricación, pero existen pequeñas diferencias en cuanto a la presencia de ojales. Las piezas del museo presentan uno o varios ojales mientras que en la pieza objeto de estudio no se observaron.

Hallazgos en la Península [13] indican la presencia de agujas de coser (con ojal) y alfileres en los yacimientos de la Cuenca del Duero en la Edad del Hierro, relacionando las agujas con ajuares relativamente ricos y sobre todo, con la presencia de fíbulas.

Sobre yacimientos como el de Cortes de Navarra [105], se estudió la existencia de agujas fabricadas en hierro y bronce, apareciendo los moldes de fabricación en arenisca para agujas de naturaleza con base cobre.

4.1.2.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La sección transversal de este objeto de hierro presenta microestructuras con diferentes contenidos en carbono. En las zonas externas se presentan microestructuras ferríticas deformadas. Las zonas adyacentes poseen un mayor

contenido en carbono y es por lo que la perlita precipita en el límite de grano ferrítico (Fig. 97).

Sin indicios de unión o soldadura, inmediatamente a continuación se observa una zona aislada con estructura de acero ferrítico-perlítico donde la ferrita toma una morfología acicular debido al enfriamiento (Fig. 98). Quedando así identificadas las distintas microestructuras, de forma general a lo largo de toda la sección longitudinal del objeto.

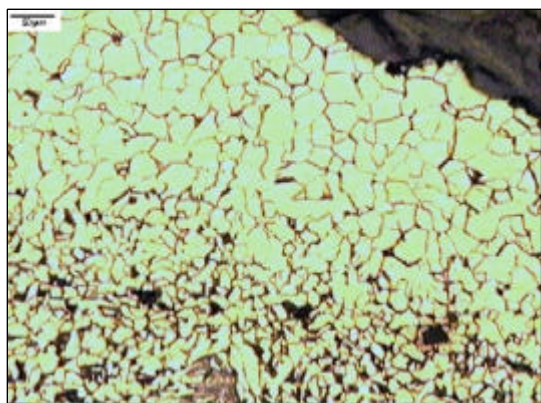


Fig. 97: Presencia de microestructuras de acero con distinto contenido en carbono en zonas externas.

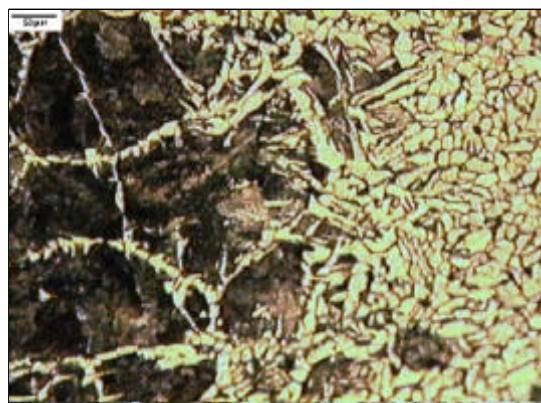


Fig. 98: Incremento del contenido de carbono en las zonas internas

De forma particular, la ferrita equiaxial deformada puede presentarse con tamaños de grano diferentes (Fig. 99), de manera que éste disminuye al aproximarnos a la zona de punta de la pieza (Fig. 100), donde aumenta el grado de deformación.

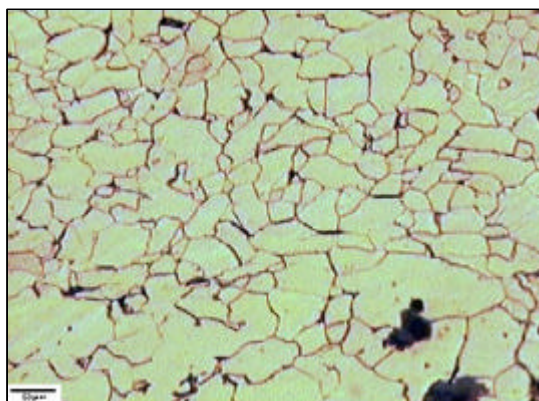


Fig. 99: Microestructura ferrítica de grano deformado

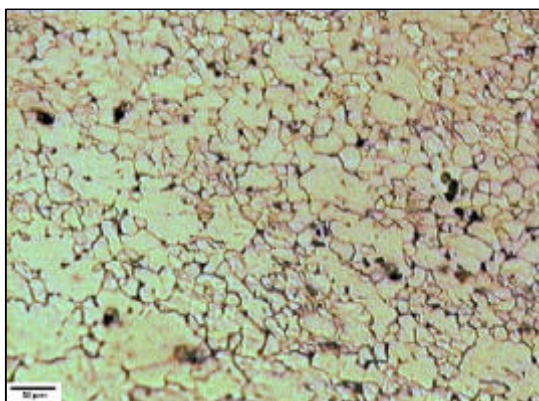


Fig. 100: Grano ferrítico de pequeño tamaño de grano y con gran grado de deformación.

Las zonas de la pieza donde se pueden observar la coexistencia de microestructuras, de acero hipoeutectoide con distinto contenido en carbono (Fig. 101), presentan escorias compuestas de silicio e hierro, posiblemente en forma de fayalita (Fig. 102), que se disponen embebidas en ambas microestructuras, pero no se presentan como frontera de separación entre ambas.

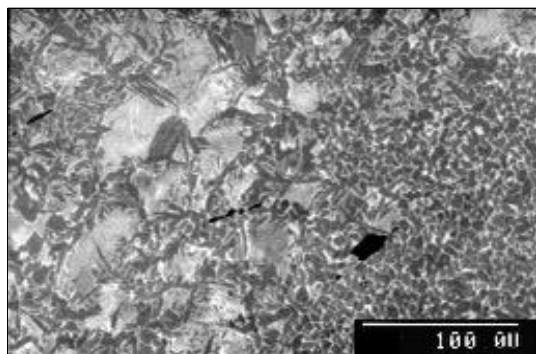


Fig. 101: Zona de cohesión entre fases de distinto contenido en carbono.

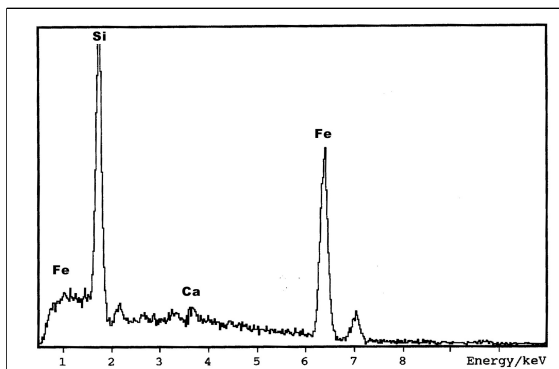


Fig. 102: Identificación de escorias como fayalita (Fe_2SiO_4).

El detalle de esta microestructura de cohesión (Fig. 101) indica que esta formada por estructuras ferrítico – perlíticas en las zonas mas próximas a la superficie externa (Fig. 103), mientras que en las zonas internas el contenido en carbono se ve incrementado, y por tanto se incrementa el contenido perlítico, tomando la ferrita estructura Widmanstätten (Fig. 104).

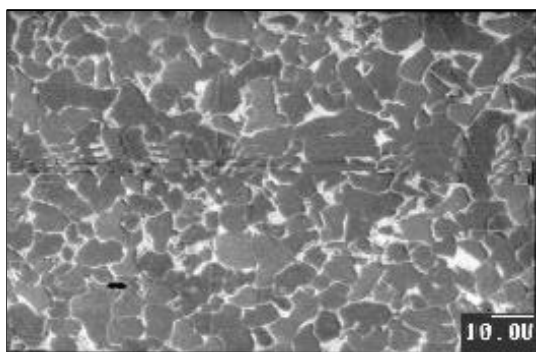


Fig. 103: Microestructura ferrítico perlítica.

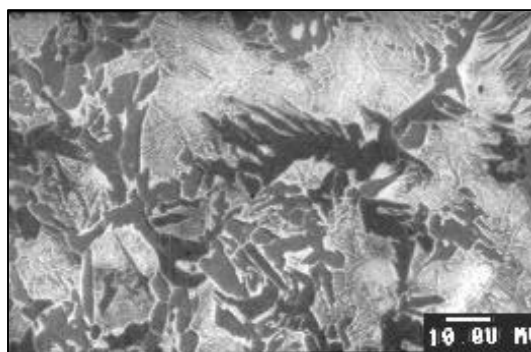


Fig. 104: Microestructura con ferrita Widmanstätten.

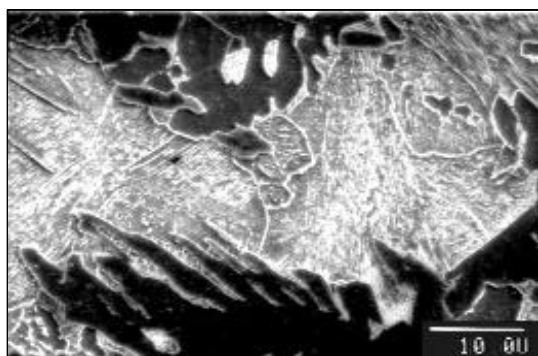


Fig. 105: Detalle de la ferrita Widmanstätten con cementita terciaria en límite de grano.

A mayores aumentos (Fig. 105), en las colonias de perlita se observan los límites de grano austenítico primigenio.

4.1.2.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza fueron obtenidas en las secciones seleccionadas según el esquema del objeto (Fig. 106). El perfil de dureza de la sección transversal (Fig. 107), muestra la existencia de zonas externas con los menores valores, los cuales van incrementándose a medida que nos aproximamos a las zonas internas de la sección.

En una sección longitudinal, se observa un incremento de los valores de dureza al ir aproximándonos a la punta de la aguja (Fig. 108).

4.1.2.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método de fabricación propuesto para esta pieza consistiría en:

- ✍ Formar una barrita a partir de un tocho (las escorias encontradas y analizadas así lo indican) de hierro de contenido en carbono bajo-medio, utilizando carbón vegetal que además permitiera la carburación parcial de la masa metálica, con un enfriamiento al aire (normalizado), que permitirá a la ferrita tomar una estructura Widmanstätten.
- ✍ Afilar la pieza mediante un martillado continuo.
- ✍ Curvar la punta de la pieza utilizando un útil (mandrino) como base.

La pieza pudo ser doblada intencionadamente para facilitar el proceso de costura.

Los valores de dureza obtenidos se corresponden con la aplicación para la que se había fabricado este objeto, ya que en la zona de punta de una aguja tiene que presentarse valores de dureza lo suficientemente altos como para que perfora los tejidos que se pretenden coser.

- 96. Fig.: Objeto denominado Aguja Saquera.
- 97. Fig.: Presencia de microestructuras de acero con distinto contenido en carbono.
- 98. Fig.: Incremento del contenido de carbono en las microestructuras de acero.
- 99. Fig.: Microestructura ferrítica de grano deformado
- 100. Fig.: Grano ferrítico de pequeño tamaño de grano y con gran grado de deformación.
- 101. Fig.: Presencia de escorias frontera de distintas microestructuras de acero.
- 102. Fig.: Identificación de escorias como Fayalita (Fe_2SiO_4) y/o Andradita ($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$).
- 103. Fig.: Microestructura ferrítico perlítica.
- 104. Fig.: Microestructura con ferrita Widmanstätten.
- 105. Fig.: Detalle de la ferrita Widmanstätten con cementita terciaria en límite de grano.
- 106. Fig.: Esquema del objeto.
- 107. Fig.: Perfil de dureza en la sección transversal.
- 108. Fig.: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

XIII. Tabla : Dimensiones de la Aguja Saquera.

- 16. Martín, A. Madroñero de la Cal, A. López V. Arqueometalurgia del poblado celtibérico de "Los Castellares", de Herrera de los Navarros (Zaragoza). Kalathos 11-12. Teruel 1991-92, pp; 233-266.
- 102. Goodway, M. High-tin bronze gong making. Journal of Metals. Marzo 1988. Vol 40. nº 3. pp:36-37.
- 103. CISNEROS, F.: "Fíbulas anulares de la Casa del Monte (Valdeganga, Albacete)". Estudios de Arqueología Ibérica y romana. Homenaje a Enrique Plá Ballester. Servicio de investigación prehistórica. Series de trabajos varios. Num 89. Diputación provincial de Valencia. Valencia. (1992). pp: 199 - 214.
- 104. BLANCO-FREIJEIRO, A. y ROTHENBERG, B.: "Exploración arqueometalúrgica de Huelva". Río Tinto Minera S.A. Labor S.A. Huelva. (1981). pp: 262-273; 278.
- 105. MALUQUER, J.: "El poblado hallstático de Cortés de Navarra". Estudio crítico I. Diputación foral de Navarra. Institución "Príncipe de Viana". Editorial Gómez. Pamplona. (1958). pp: 133- 137.
- 13. KURTZ, W.S.: "La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)". Volumen I. BAR international Series 344. (1987).

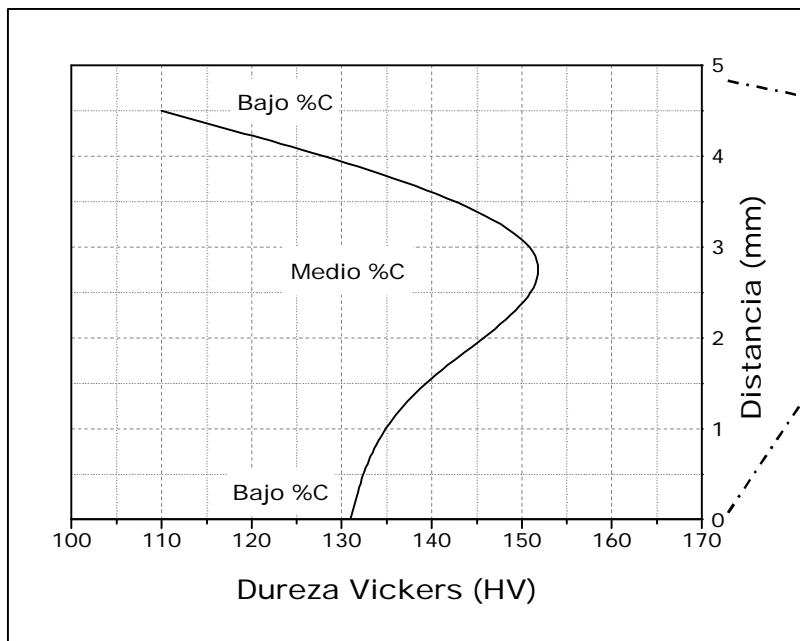


Fig. 107: Perfil de dureza en la sección transversal.

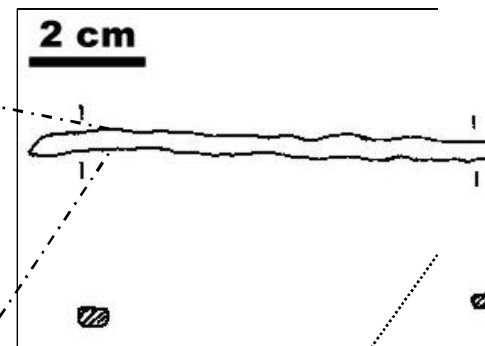


Fig. 106: Esquema del objeto.

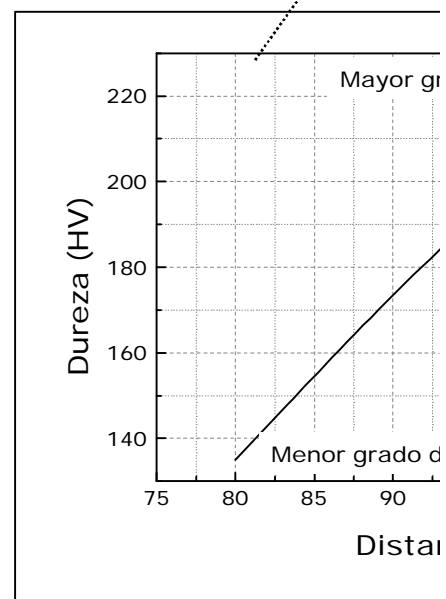


Fig. 108: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

4.1.3 Badajo

4.1.3.1. CATALOGACIÓN

El badajo es un objeto que fue encontrado en el ala oeste, habitación 10-3, de la villa.

La pieza se reconoció dentro del grupo número 3, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de atalajes de caballerías, ya que se trata de una pieza que pertenece a cencerros, campanas o esquilas destinados a animales que eran utilizados en labores agrícolas, practicadas en los campos adyacentes a esta villa durante la época romana.

Presenta una morfología alargada, de sección cilíndrica y terminada en redondo (Fig. 109) y cuyas dimensiones se recogen en la tabla XIV. El grosor de la pieza varía, encontrando la anchura mayor próxima a la punta.



Fig. 109: Objeto denominado Badajo.

Tabla XIV: Dimensiones del Badajo.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	100.78
Grosor	8.26 - 21.07

4.1.3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se realizó el análisis mediante difracción de rayos X de las pátinas adheridas a la pieza, después de la etapa de consolidación (Fig. 110).

La composición de las pátinas, de esta pieza, presentó distintas fases minerales identificándose (Tabla XV) de forma mayoritaria la presencia de hierro (06-0696).

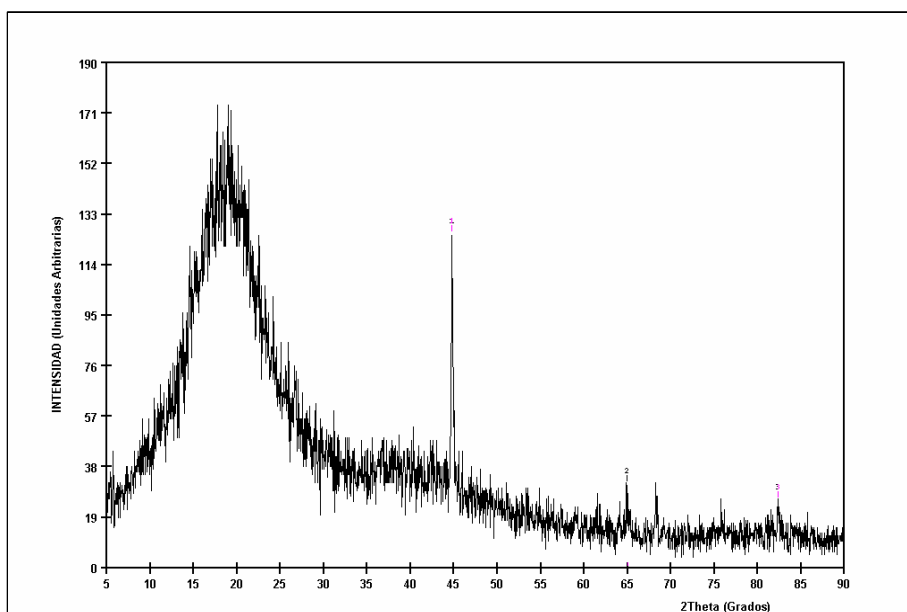


Fig. 110: Difractograma de las pátinas adheridas a la pieza en su sección transversal.

Tabla XV: Identificación de los picos del difractograma de la probeta normal del badajo.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	44.74	2.026	100	Fe	06-0696	1	1	0
2	64.98	1.435	16	Fe	06-0696	2	0	0
3	82.34	1.171	10	Fe	06-0696	2	1	1

4.1.3.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

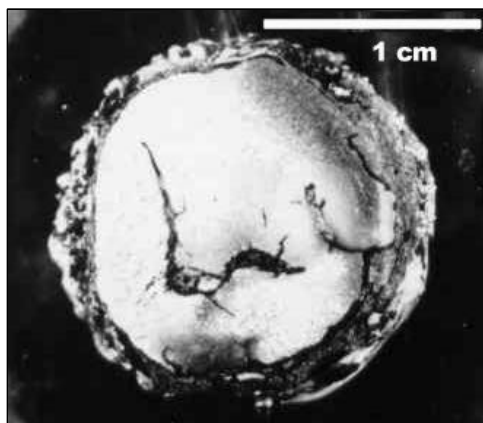


Fig. 111: Grieta en la zona de unión con el campano.

En la sección longitudinal de la pieza destaca una gran grieta, o falta de masa metálica, que recorre el eje desde la punta hasta la zona de unión con el campano (Fig. 111).

El badajo presenta dos microestructuras bien diferenciadas situadas a ambos lados de la grieta; una de ellas es de matriz ferrítica con cementita y perlita precipitada en su límite de grano (Fig. 112), mientras que la otra es perlita con ferrita Widmanstätten (Fig. 113).

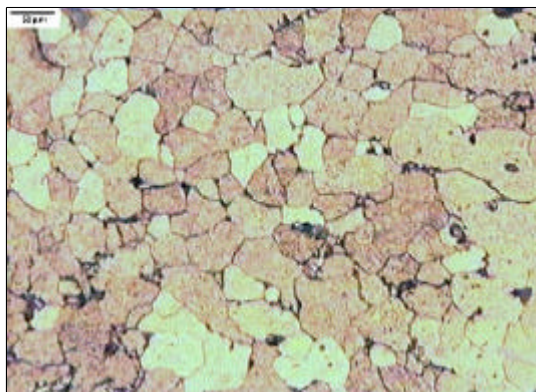


Fig. 112: Microestructura de matriz ferrítica.



Fig. 113: Microestructura ferrítico perlítica.

La disposición de estos microconstituyentes es en bandas. Según la sección del badajo estudiada, se observaron variaciones en esta disposición. Así, en secciones alejadas de la punta las bandas microestructurales están bien diferenciadas (Fig. 114).

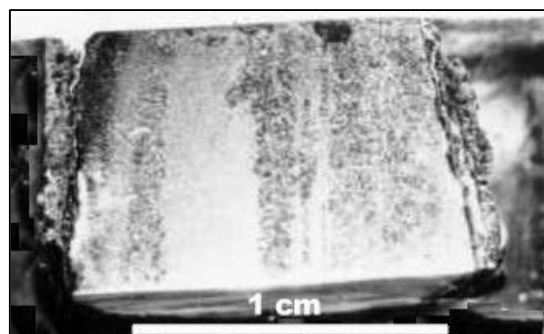


Fig. 114: Bandas de microestructuras de acero con distinto contenido en carbono.

Al alejarnos de la zona de punta, la microestructura ferrítica (Fig. 115) posee cementita terciaria y pequeñas colonias perlíticas precipitadas en límite de grano, en las zonas exteriores de la sección (Fig. 116).

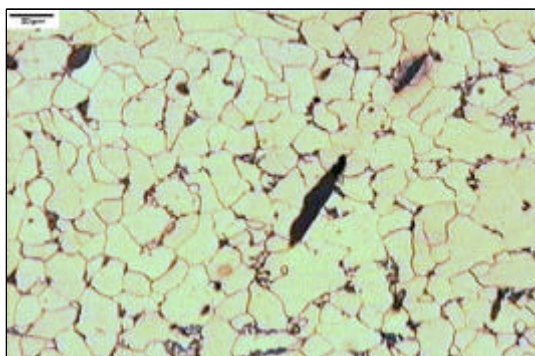


Fig. 115: Matriz ferrítica con escorias direccionadas.

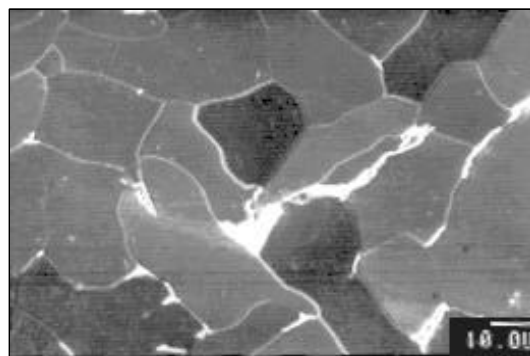


Fig. 116: Microestructura hipoeutectoide de bajo contenido en carbono.

En las zonas internas, se observaron microestructuras ferrítico – perlíticas (Fig. 117) con contenido bajo en carbono (Fig. 118).

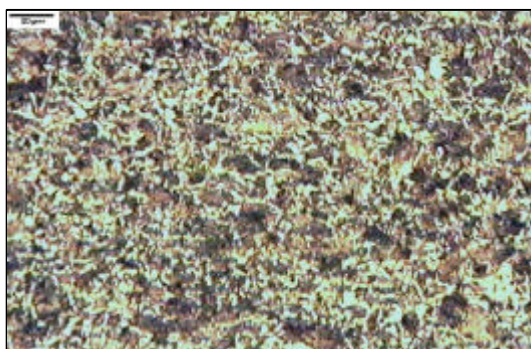


Fig. 117: Microestructura ferrítico perlítica.

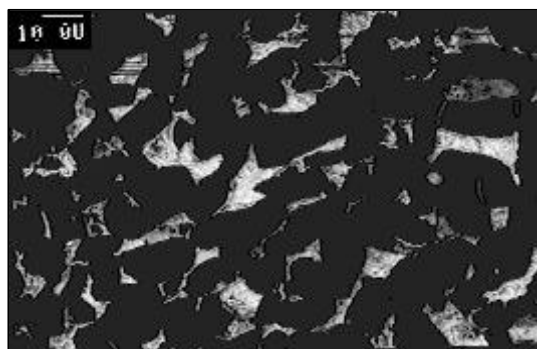


Fig. 118: Microestructura hipoeutectoide de contenido en carbono bajo.

Sin embargo, y aisladamente, hay zonas donde coexisten de dos microestructuras diferentes (Fig. 119); una zona con un contenido en carbono del orden del 0.3 %, de ferrita con colonias perlíticas (Fig. 120), y otra zona de acero con un contenido en carbono del 0.6 %, con ferrita Widmanstätten (Fig. 121). El análisis EDS (Fig. 122) de las escorias presentes en la figura 121 denotan la existencia de silicio, aluminio, calcio, potasio y manganeso, que son elementos que aparecen como subproductos de la metalurgia de obtención de la pella o del tocho.

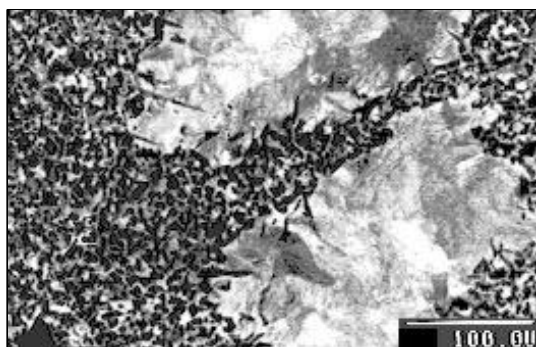


Fig. 119: Zona de cohesión de microestructuras con distinto contenido en carbono.

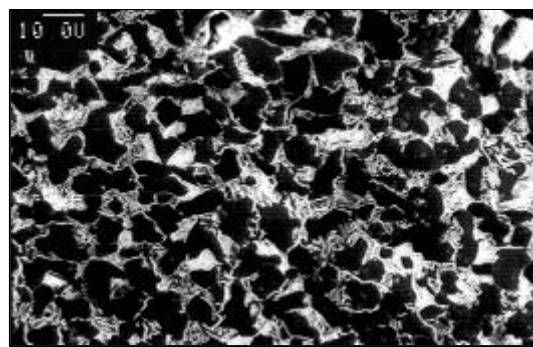


Fig. 120: Microestructura ferrítico perlítica con un 0.3% aproximado en carbono.



Fig. 121: Microestructura con ferrita Widmanstätten

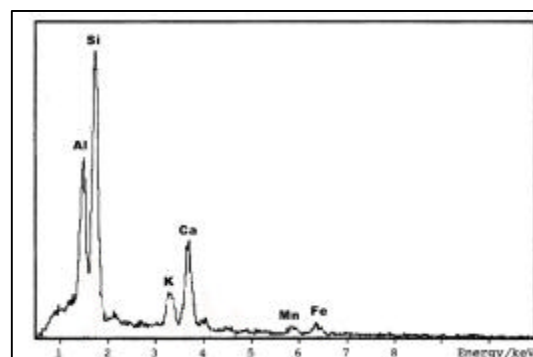


Fig. 122: Identificación de las escorias marcadas en la figura 121.

4.1.3.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Con el análisis de dureza de las distintas secciones del badajo (Fig. 123) se pudo comprobar una disminución del valor de la misma a lo largo de toda la pieza (Fig. 124), alcanzándose los menores valores en la zona "libre", zona donde suponemos que esta pieza no estaría unida al cencerro.

Las secciones transversales presentan valores menores en las zonas externas, que en las internas del objeto, tanto en la zona "libre" (Fig. 126), como en la zona de unión (Fig. 125).

4.1.3.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

En el método de fabricación del badajo, se plantean dos posibilidades, que consistirían en:

Posibilidad 1:

- ✍ Unir dos barras de acero de diferente contenido en carbono.
- ✍ Homogeneizar la estructura en la punta de la pieza al darle la forma final.

Posibilidad 2:

- ✍ Plegar de una parte de una única lámina sobre sí misma mediante forja, que decarburaría esta zona.
- ✍ Homogeneizar la estructura en la punta de la pieza al darle la forma final.

La aparición de la gran grieta longitudinal quedaría explicada mediante ambos procedimientos de fabricación.

- 109. *Fig. : Objeto denominado Badajo.*
- 110. *Fig.: Difractograma de la sección transversal del objeto.*
- 111. *Fig. : Grieta en la zona de unión con el campano.*
- 112. *Fig. : microestructura de matriz ferrítica.*
- 113. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 114. *Fig. : Bandas de microestructuras de acero con distinto contenido en carbono.*
- 115. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias direccionadas.*
- 116. *Fig. : Microestructura hipoeutectoide de bajo contenido en carbono.*
- 117. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 118. *Fig.: Microestructura hipoeutectoide de contenido en carbono medio.*
- 119. *Fig. : Zona de cohesión de microestructuras con distinto contenido en carbono.*
- 120. *Fig. :Microestructura ferrítico perlítica con un 0.3% aproximado en carbono.*
- 121. *Fig. : Microestructura con ferrita Widmanstattën*
- 122. *Fig. : Identificación de las escorias presentes.*
- 123. *Fig.: Esquema del objeto.*
- 124. *Fig.: Perfil de dureza en la sección longitudinal.*
- 125. *Fig.: Perfil de dureza en la sección A.*
- 126. *Fig.: Perfil de dureza en la sección B.*

XIV. *Tabla : Dimensiones del Badajo.*

- XV. *Tabla: Identificación de los picos del difractograma de la probeta normal del badajo.*

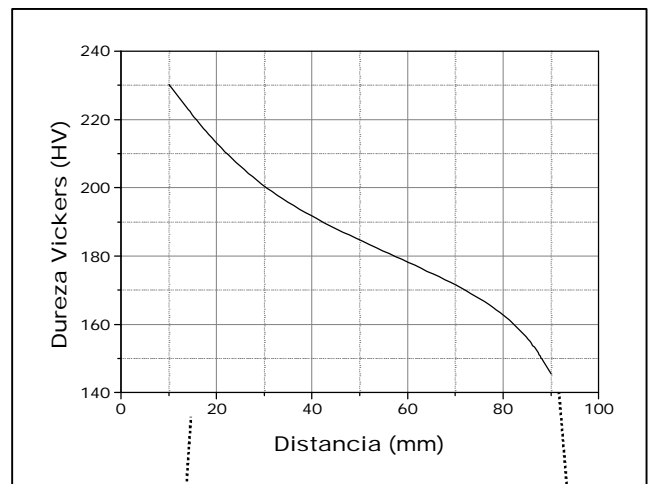


Fig. 124: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

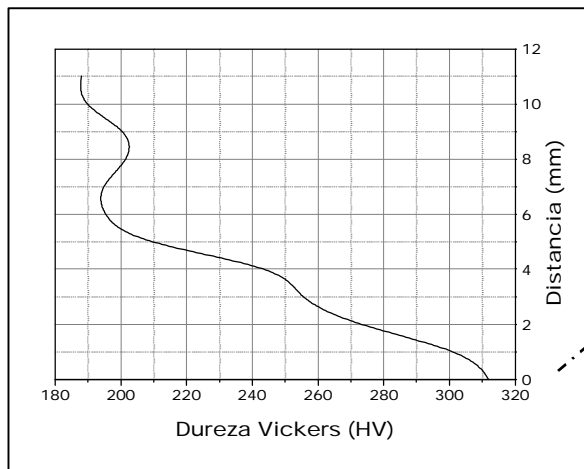


Fig. 125: Perfil de dureza en la sección A.

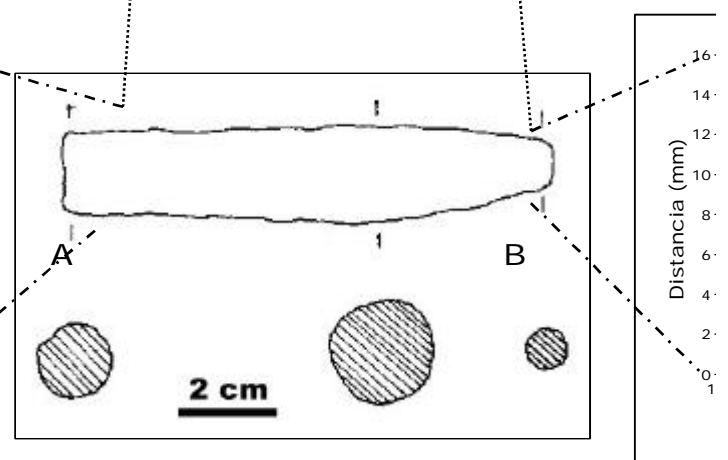


Fig. 123: Esquema del objeto.

Fig. 1

4.1.4 Cardador

4.1.4.1. CATALOGACIÓN

El cardador es un útil que fue hallado en el ala oeste de la villa (habitación 10-3).

Se archivó dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas, ya que se supuso que su utilidad estaba relacionada con el oficio de curtir pieles de animales y, para ser más precisos, en la etapa de peinado del pelo de la piel.

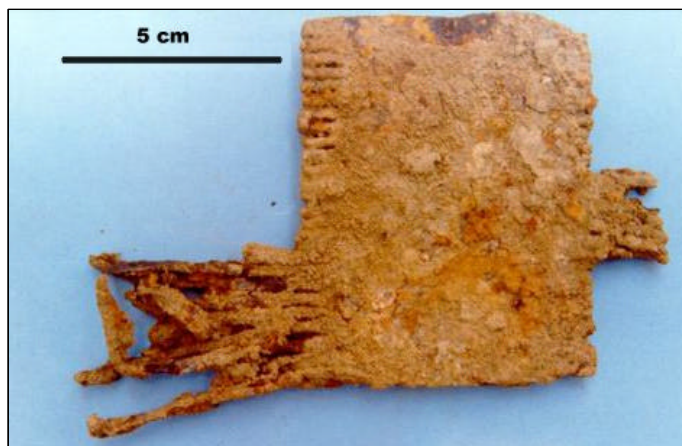


Fig. 127: Objeto denominado Cardador.

La pieza es ancha y plana, posee dos lados de diferente morfología; uno con púas largas y estrechas, y otro rectangular con una pequeña protuberancia también rectangular y situada en el centro del lado. Las púas que aparecen son escasas y se muestran curvadas o rotas (Fig. 127). Las dimensiones que presenta la pieza se recogen en la tabla XVI.

Tabla XVI: Dimensiones del Cardador.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)		
	Cuerpo	Protuberancia	Púas
Longitud	68.8	15.8	50.78
Anchura	85.5	21.28	3.6
Altura	7.3	6.6	4.8

4.1.4.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Las tierras que acompañaban a la pieza, antes de la etapa de consolidación, fueron analizadas mediante difracción de rayos X (Fig. 128).

En el difractograma se identifican los picos de intensidad como cuarzo SiO_2 (33-1161) y calcita CaCO_3 (72-1650), que son los componentes mayoritarios de las arenas de la zona (Tabla XVII).

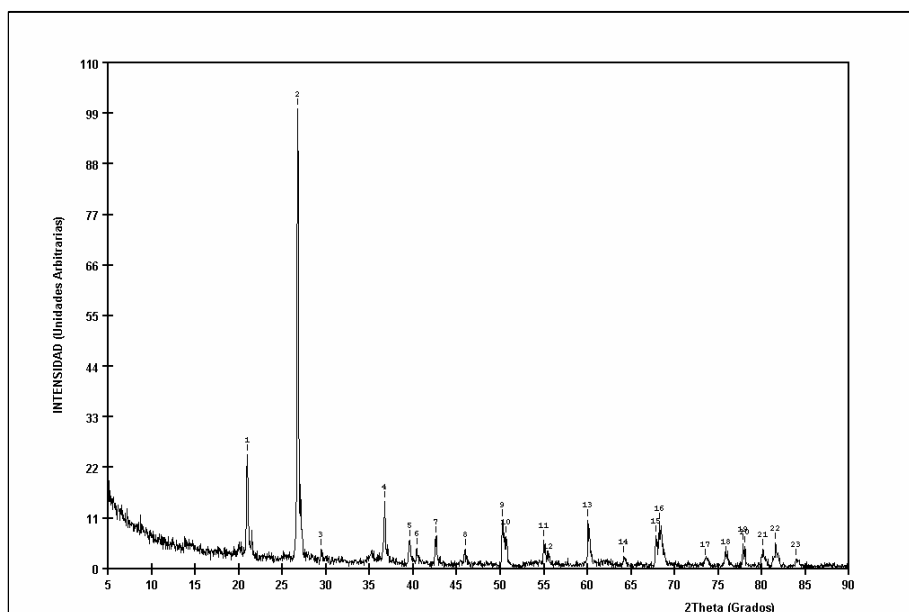


Fig. 128: Difractograma de las tierras adheridas al objeto.

Tabla XVII: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cardador.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.94	4.242	24.91	SiO ₂	33-1161	1	0	0
2	26.74	3.334	100	SiO ₂	33-1161	1	0	1
3	29.42	3.036	4.27	CaCO ₃	72-1650	1	0	4
4	36.70	2.449	14.73	SiO ₂	33-1161	1	1	0
5	39.58	2.277	6.27	SiO ₂	33-1161	1	0	2
6	40.38	2.234	4.55	SiO ₂	33-1161	1	1	1
7	42.54	2.125	7	SiO ₂	33-1161	2	0	0
8	45.94	1.975	4.18	SiO ₂	33-1161	2	0	1
9	50.22	1.817	10.64	SiO ₂	33-1161	1	1	2
10	50.58	1.805	7	SiO ₂	33-1161	0	0	3
11	54.94	1.671	6.27	SiO ₂	33-1161	2	0	2
12	55.46	1.657	1.73	SiO ₂	33-1161	1	0	3
13	60.02	1.541	10.64	SiO ₂	33-1161	2	1	1
14	64.10	1.453	2.64	SiO ₂	33-1161	1	1	3
15	67.78	1.383	7.18	SiO ₂	33-1161	2	1	2
16	68.22	1.375	10	SiO ₂	33-1161	3	0	1
17	73.46	1.289	2.18	SiO ₂	33-1161	1	0	4
18	75.86	1.254	2.73	SiO ₂	33-1161	3	0	2
19	77.82	1.227	5.36	SiO ₂	33-1161	2	2	0
20	78.02	1.225	4.91	CaCO ₃	72-1650	2	2	3
21	80.10	1.198	4.18	SiO ₂	33-1161	2	2	1
22	81.54	1.181	5.64	SiO ₂	33-1161	3	1	0
23	83.86	1.154	2.18	SiO ₂	33-1161	3	1	1

4.1.4.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La radiografía tomada del cardador (Fig. 129) indica que éste está formado por numerosas púas superpuestas sobre una matriz o lámina, y que no ha existido un proceso completo de soldadura. Aparecen numerosas manchas de distintos tonos de grises, lo que indican la presencia de diferentes fases oxidadas.

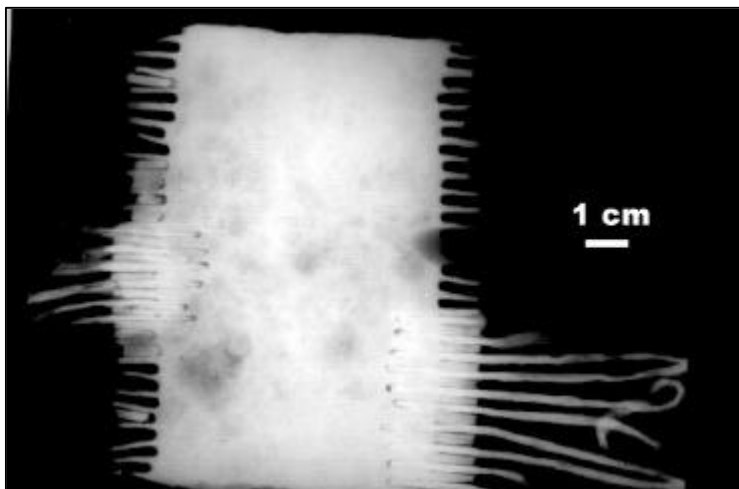


Fig. 129: Radiografía frontal del objeto.

Macrográficamente, se ratifica la disposición de las púas del cardador sobre la matriz (Fig. 130), y de la presencia de productos debidos a la corrosión en el perfil de las púas (Fig. 131), o a través del cuerpo de las mismas (Fig. 132).

Las púas no presentan una longitud uniforme (Fig. 133).

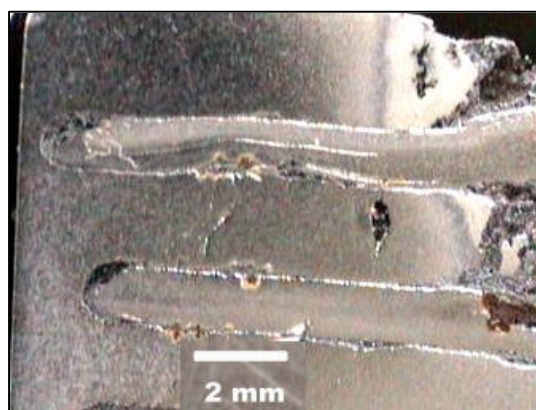


Fig. 130: Detalle de las púas en el cardador.

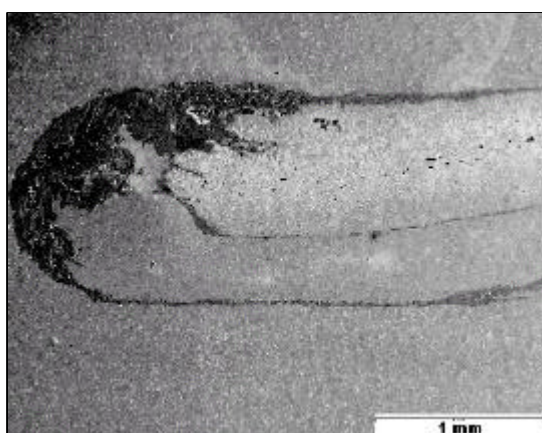


Fig. 131: Micrografía de la púa.

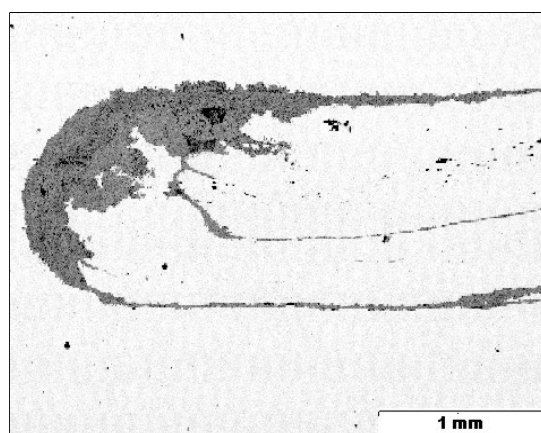


Fig. 132: Imagen de electrones retrodifundidos de la figura 131.

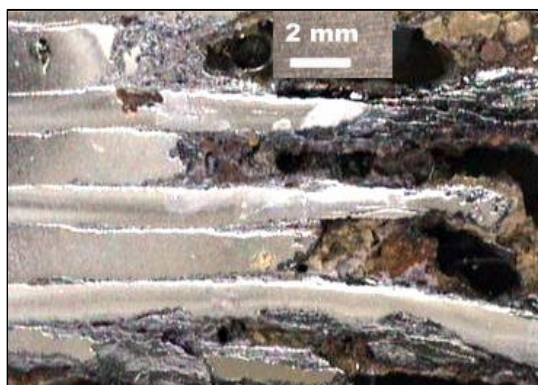


Fig. 133: Distinta longitud de las púas de la pieza.

La naturaleza metálica de los componentes del cardador, tanto púas como matriz, es férrea, si bien el tipo de acero difiere en el contenido en carbono. Así, la base del cardador, o matriz, presentó una microestructura ferrítica (Fig. 134), mientras que las púas presentan tres microestructuras de diferente contenido en carbono, en su sección transversal (Fig. 135).

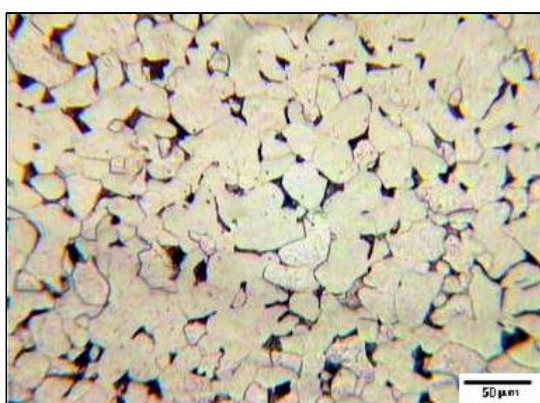


Fig. 134: Microestructura de acero ferrítico en la base del objeto.



Fig. 135: Zona de cohesión de microestructuras de contenido en carbono diferente en las púas.

Las tres zonas microestructurales, diferenciadas en las púas del cardador, se presentan como consecuencia de un proceso de decarburación: Zona externa ferrítica (Fig. 136), zonas medias ferrítico perlíticas (Figs. 137 y 138) y zonas internas hipoeutectoides (0.7%C) (Fig. 139).

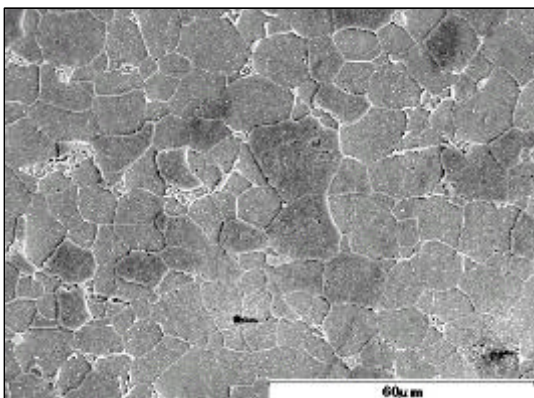


Fig. 136: Microestructura de matriz ferrítica.

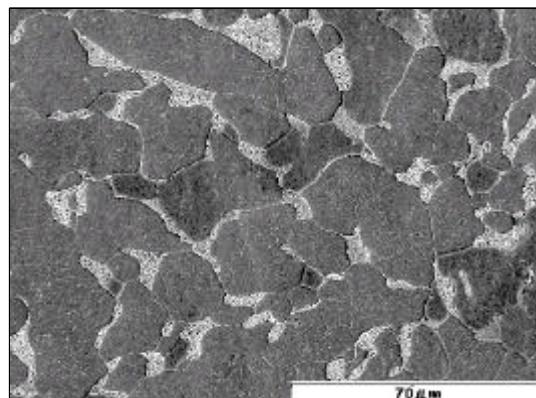


Fig. 137: Microestructura ferrítico perlítica de bajo contenido en carbono.

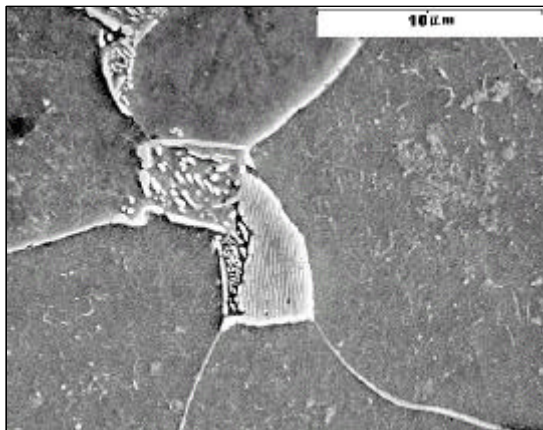


Fig. 138: Detalle de la perlita fina en límite de grano.

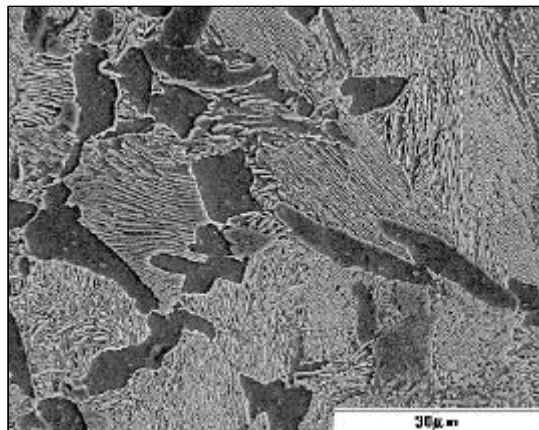


Fig. 139: Microestructura ferrítico perlítica de alto contenido en carbono (zona interna).

Es posible apreciar una variación en la microestructura de la púa (sección longitudinal), ya que el final de la púa presenta una microestructura hipereutectoide globulizada con cementita en límite de macla (Fig. 140).

La caracterización microestructural de la zona de unión de la púa a la matriz se define mediante los productos de corrosión (Fig. 141) que quedan identificados por unas morfologías típicas de los óxidos de hierro (Figs. 142 y 143).

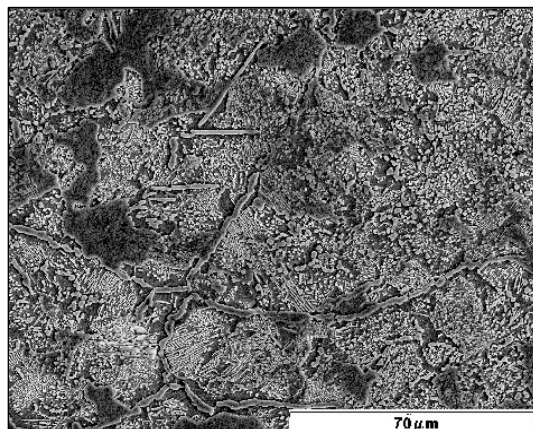


Fig. 140: Microestructura hipereutectoide globulizada.

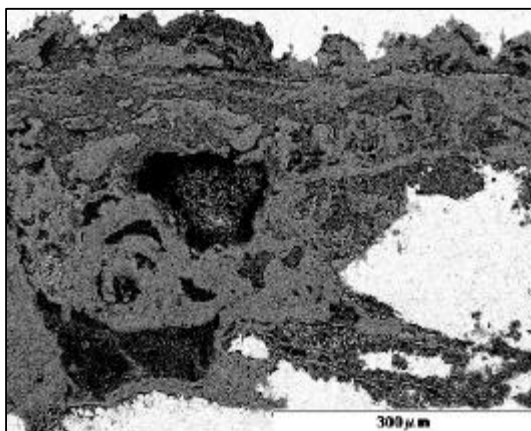


Fig. 141: Productos de corrosión en zona de unión de las púas a la matriz.

Por otro lado, aparecen embebidos en estos productos de corrosión, escorias fragmentadas (Fig. 144) que quedan identificadas como $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$ (Fig. 145).

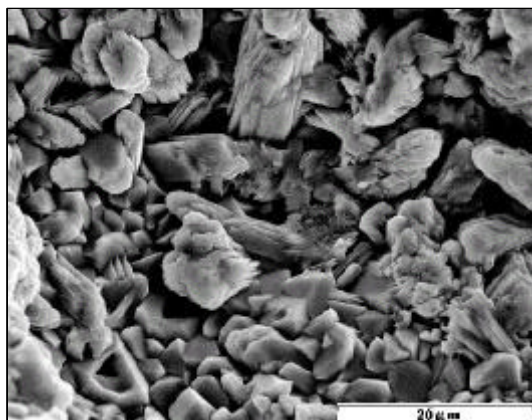


Fig. 142: Detalle de los productos de corrosión.

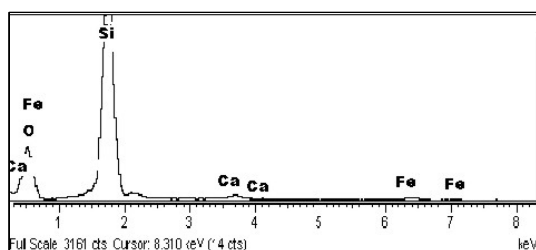


Fig. 145: Identificación de los componentes de las escorias.

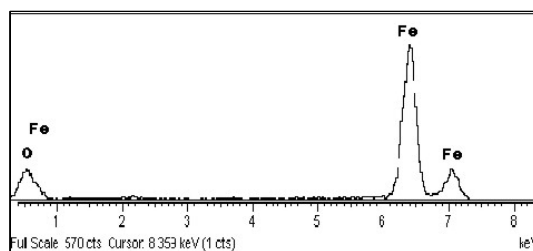


Fig. 143: Identificación de los productos de corrosión de la figura 142 como FeO .

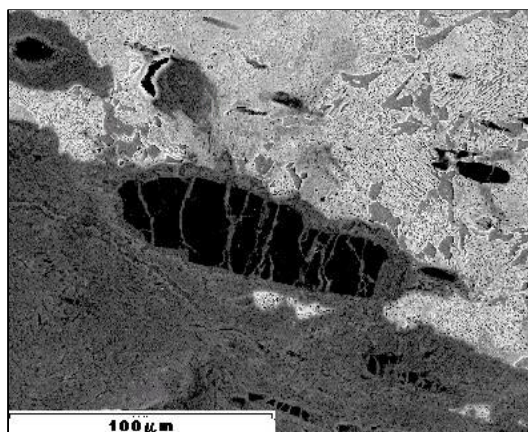


Fig. 144: Escorias dispuestas en la microestructura.

4.1.4.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores medios de dureza Vickers de este cardador quedan divididos en los valores que se presentan en la matriz, que son de 65.2 HV, y los valores que presentan las púas, que difieren según la microestructura presente en; uno de 83.3 HV de valor medio en zonas perlíticas, y otro de 66.7 HV de valor de dureza medio en las zonas ferríticas.

Estos valores fueron obtenidos en las tres secciones marcadas según el esquema de la figura 146.

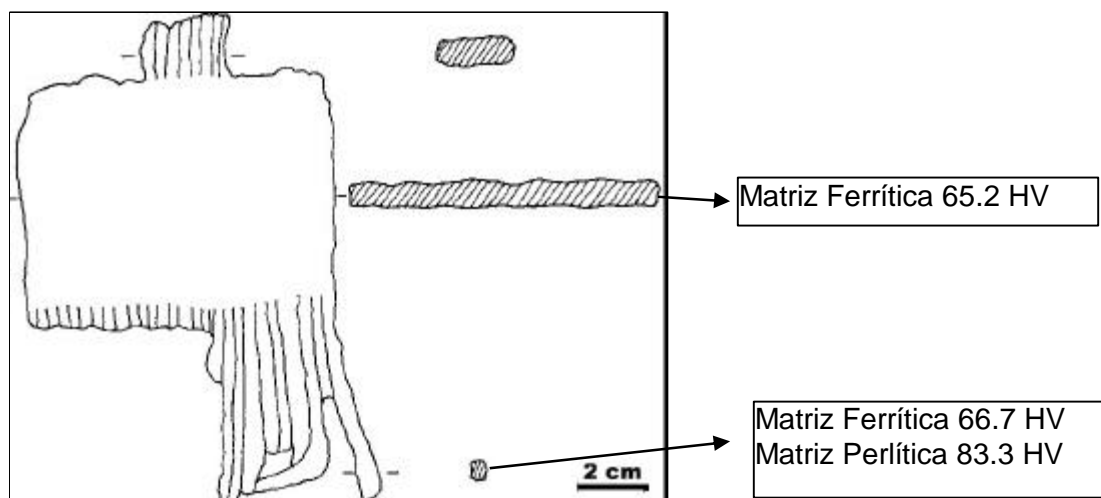


Fig. 146: Esquema del objeto.

4.1.4.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método de fabricación de este cardador consistiría en:

- ✂ Ranurar las zonas externas de una lámina de hierro mediante cortafríos y martillo, con objeto de conformar la matriz.
- ✂ Estirar, laminar y cortar finas barritas de hierro que conforman las púas. En este proceso produciría la carburación de las mismas, intencionada o no. Se debieron de alcanzar en este proceso altas temperaturas que globulizaron la cementita constituyente de la perlita.
- ✂ Superponer y forjar las púas a la matriz hasta conseguir un grosor homogéneo a lo largo de toda la pieza.

127. *Fig. : Objeto denominado Cardador.*
128. *Fig. : Difractograma de las tierras adheridas al objeto.*
129. *Fig. : Radiografía frontal del objeto.*
130. *Fig. : Detalle de las púas en el cardador.*
131. *Fig. : Micrografía de la púa.*
132. *Fig. : Imagen retrodifundidos de figura .*
133. *Fig. : Distinta longitud de las púas de la pieza.*
134. *Fig. : Microestructura de acero ferrítico en la base del objeto.*
135. *Fig. : Zona de cohesión de microestructuras de contenido en carbono diferente.*
136. *Fig. : Microestructura de matriz ferrítica.*
137. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
138. *Fig. : Detalle de la perlita fina en límite de grano y carburos intragranularmente.*
139. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de mayor contenido en carbono.*
140. *Fig. : Microestructura hipereutectoide globulizada.*
141. *Fig. : Productos de corrosión en zona de unión de las púas a la matriz.*
142. *Fig. : Detalle de los productos de corrosión.*
143. *Fig. : Identificación de los productos de corrosión de la figura como FeO.*
144. *Fig. : Escorias dispuestas en la microestructura.*
145. *Fig. : Identificación de los componentes de las escorias.*
146. *Fig. : Esquema del objeto.*

XVI. *Tabla : Dimensiones del Cardador.*

XVII. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cencerro.*

4.1.5 Hacha Nº 7

4.1.5.1. CATALOGACIÓN

El hacha, identificado con el número 7, fue encontrado en la villa de "La Olmeda" en el ala oeste, habitación 9-2.

Esta pieza se reconoció dentro del grupo número 5, del catalogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas, ya que se supuso que su utilidad estaba relacionada con la tala o corte de madera que sería necesario en la vida cotidiana de esta villa.

Se trata de una pieza con forma de hacha en la cual se distingue un extremo más grueso, que es la zona donde se ubicaría el posible orificio de enmangue, y otro más fino, que corresponde al filo (Fig. 147).

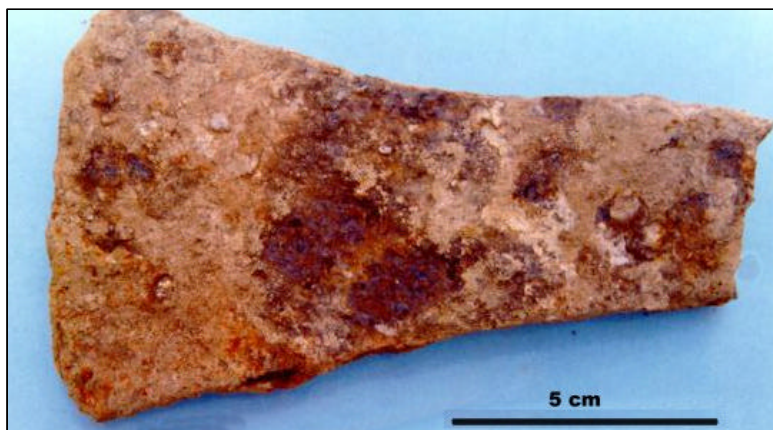


Fig. 147: Objeto catalogado como hacha.

Hachas de este tipo, aunque de menor tamaño, son las encontradas en el Cabecico ?104? en un total de restos de siete hachas. Se trata de utensilios pequeños y, con seguridad, no de armas, aunque nada impediría su uso eventual en algunas circunstancias, del mismo modo que se puede emplear un cuchillo de cocina o una piqueta. Se piensa que, desde luego, cuando se introdujeron en las tumbas no fue en su condición de posible arma, sino como utensilio de uso artesanal, agrícola, etc.

De un tamaño similar al hacha objeto de estudio, se encontró en Castimontan ?105? un ejemplar de dimensiones 102 x 56 cabeza x 62 filo mm.

Para poder reconocer el hacha dentro de trabajos sobre este tipo de piezas, llevadas a cabo por otros autores, se ha recurrido a trabajos de Lull sobre la cultura del Argar ?7?, donde se analizan las diferentes clasificaciones llevadas a cabo por otros autores anteriormente, como parte de un estudio para poder ofrecer una nueva clasificación

aplicada a esta cultura. Aunque este estudio está basado en piezas de una cultura mucho más antigua que la de La Olmeda, y basada además en piezas de la Edad de Bronce, nos parece interesante aplicarla sobre nuestro entorno cultural, y específicamente en el hacha (aunque posteriormente la aplicaremos a cuchillos, sierras, etc...).

Lull presenta una clasificación de las hachas en función a sus dimensiones y establece para ello unos índices, que se definen como:

a) Primer índice (ángulo) = (anchura máxima - anchura base) / longitud.

b) Área = [(base + anchura máxima) x longitud] / 2

Así establece unos grupos y subgrupos que se muestran en la tabla XVIII, atendiendo tanto al ángulo como al área:

Tabla XVIII: Dimensiones e índices de hachas dadas por Lull.

		SUBTIPO			
		MG (Área > 68 cm ²)	G (Área > 44 cm ²)	P (Área 43 - 23 cm ²)	MP (Área < 68 cm ²)
TIPO	I (ángulo < 0.35)	IMG	IG	IP	IMP
	II (ángulo > 0.35)	IIMG	IIG	IIP	IIMP

El ejemplar de La Olmeda tiene un ángulo de 0.31 y un área de 74.5 cm², con lo cual quedaría englobada dentro del tipo I y del subtipo MG.

Si consideramos, además un índice nuevo que se denomina de exvasamiento o de abertura del filo, definido por:

Segundo índice (exvasamiento) = anchura base / anchura máxima.

En nuestro caso este índice toma el valor de 0.49.

Con todas estas características, Lull considera que éste hacha de La Olmeda es una pieza extraordinaria y atípica en el marco tecnológico de la Cultura del Argar.

Las dimensiones que presentó el hacha son las que se muestran en la tabla XIX.

Tabla XIX: Dimensiones del Hacha.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Zona empuñadura	Zona Filo
Anchura	38.2	78.31
Grosor	16.31	6.35
Longitud	127.81	

4.1.5.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La difracción de rayos X en esta pieza se realizó, tanto en las tierras como en los óxidos y/o pátinas que se encontraban adheridos a la pieza, en una sección de la misma.

Las tierra presentan un difractograma (Fig. 148) donde se muestran picos que quedan identificados (Tabla XX) como akagenita ($\text{FeO}(\text{OH})$), magnetita (Fe_3O_4) y óxido de hierro (FeO).

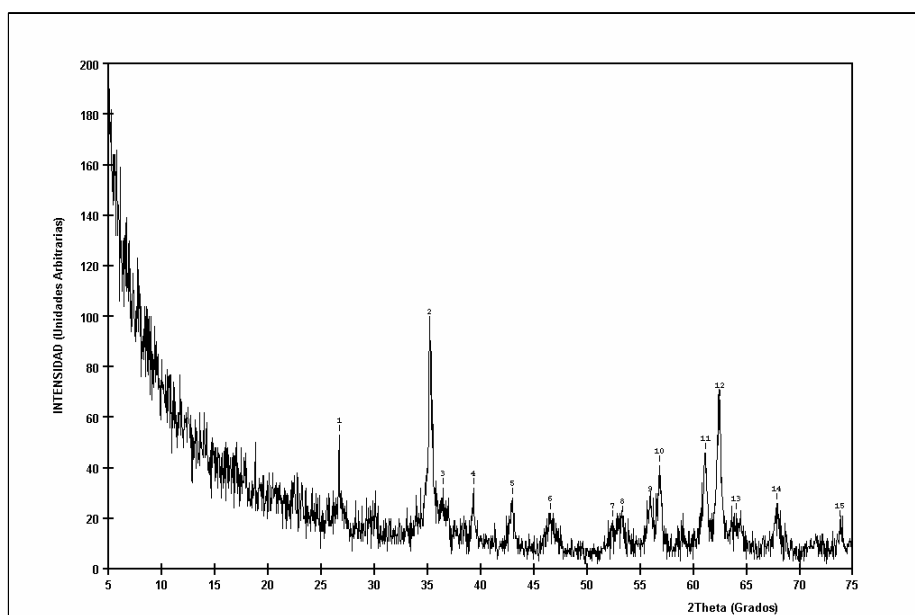


Fig. 148: Difractograma de las tierras recogidas junto al hacha.

Tabla XX: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al hacha.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.70	3.339	53	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	3	1	0
2	35.18	2.551	96	Fe_3O_4	74-0748	3	1	1
3	36.50	2.462	32	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	3	3	0
4	39.30	2.293	32	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	3	0	1
5	42.98	2.104	28	Fe_3O_4	74-0748	4	0	0
6	46.54	1.951	22	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	4	1	1
7	52.42	1.746	19	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	6	0	0
8	52.98	1.728	19	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	4	3	1
9	55.98	1.643	26	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	5	2	1
10	56.82	1.620	41	Fe_3O_4	74-0748	3	3	3
11	61.14	1.516	46	FeO	06-0711	1	1	0
12	62.46	1.487	67	Fe_3O_4	74-0748	4	4	0
13	64.02	1.454	22	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	5	4	1
14	67.82	1.382	26	Fe_3O_4	74-0748	4	4	2
15	73.78	1.284	19	FeO	06-0711	1	1	3

La akagenita identificada (34-1266) cristaliza en el sistema tetragonal, con parámetros de red; $a = 10.535 \text{ \AA}$ y $c = 3.030 \text{ \AA}$. Por otro lado, la magnetita (74-0748) lo hace en el sistema cúbico con parámetro de red: $a = 8.3941 \text{ \AA}$ y finalmente el óxido de hierro identificado (06-0711), cristaliza en el sistema romboédrico cuyos parámetros de red son $a = 3.025 \text{ \AA}$ y $c = 7.501 \text{ \AA}$. Estas fases minerales no son habituales en las tierras de la zona, por lo que se trataría de pátinas que se desprendieron de la pieza antes de la etapa de consolidación y que se recogieron junto a la muestra de la tierras.

Por el contrario, en el difractograma de las pátinas adheridas a la pieza (Fig. 149) se muestran picos que quedan identificados (Tabla XXI) como cuarzo SiO_2 (33-1161) y hierro (06-0696). En este caso, el cuarzo sí que es un componente claro de las tierras que conforman el yacimiento.

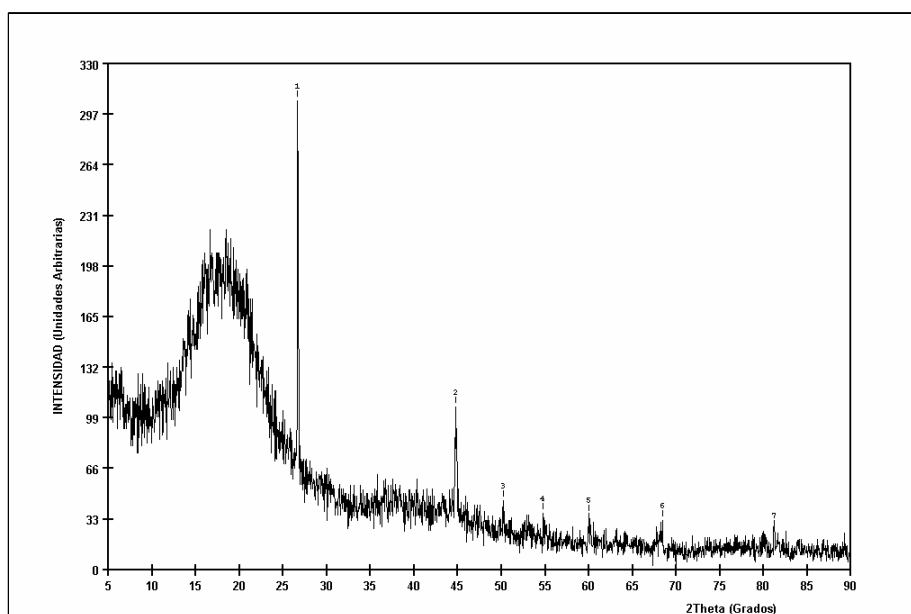


Fig. 149: Difractograma de las pátinas adheridas al hacha.

Tabla XXI: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al hacha.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2θ)	Espaciado. (\AA)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.66	3.344	100	SiO_2	33-1161	1	0	1
2	44.74	2.026	30.4	Fe	06-0696	1	1	0
3	50.18	1.818	6.3	SiO_2	33-1161	1	1	2
4	54.78	1.676	7.1	SiO_2	33-1161	2	0	2
5	60.02	1.541	7.7	SiO_2	33-1161	2	1	1
6	68.38	1.372	9.2	SiO_2	33-1161	3	0	1
7	81.18	1.185	6.7	SiO_2	33-1161	1	1	4

4.1.5.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Las microestructuras presentes en las secciones estudiadas del hacha, aparecen en bandas, con una disposición tipo sandwich (Fig. 150). Sin embargo, llegando a la zona de filo, las bandas se ven incrementadas en número, respecto a las diferenciadas en el resto de la pieza (Fig. 151).

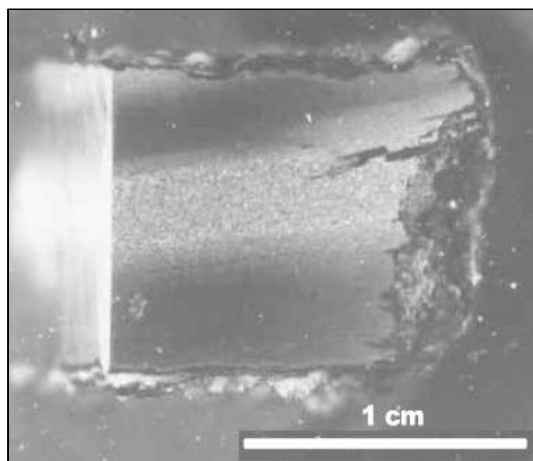


Fig. 150: Sección transversal del hacha con bandas de microestructuras diferentes.

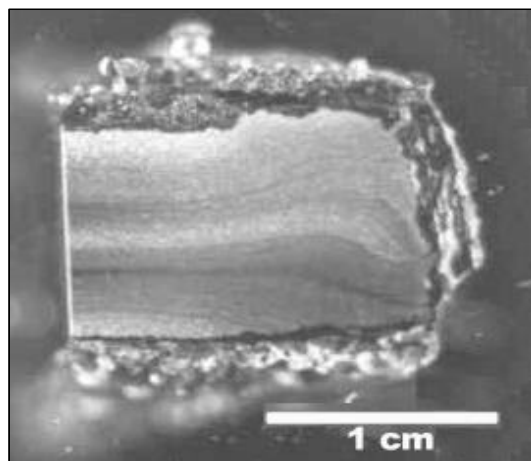


Fig. 151: Sección del hacha con bandas de microestructuras diferentes.

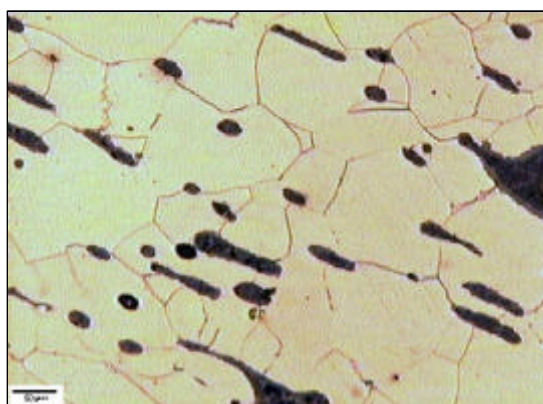


Fig. 152: Matriz ferrítica con escorias direccionadas.

La microestructura que presentan las bandas más externas son ferríticas, con escorias direccionadas (Fig. 152). La banda interna presenta una microestructura perlítica (Figs. 153 y 154).



Fig. 153: Microestructura perlítica.

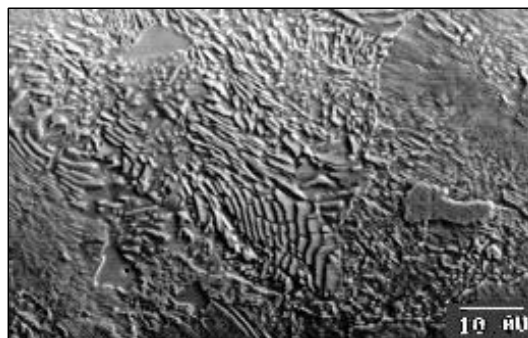


Fig. 154: Detalle de la figura 153.

La microestructura ferrítica presenta algunas variantes en cuanto al tamaño de grano y en cuanto a la morfología (Figs. 155 y 156), de manera que el tamaño de grano de la misma disminuye al acercarnos al filo y se presenta tanto en forma nodular como acicular.

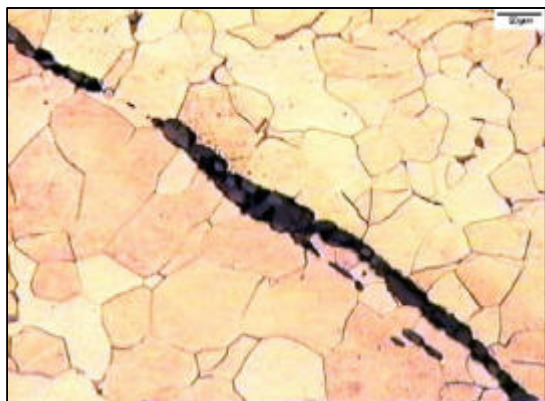


Fig. 155: Matriz ferrítica con escoria.

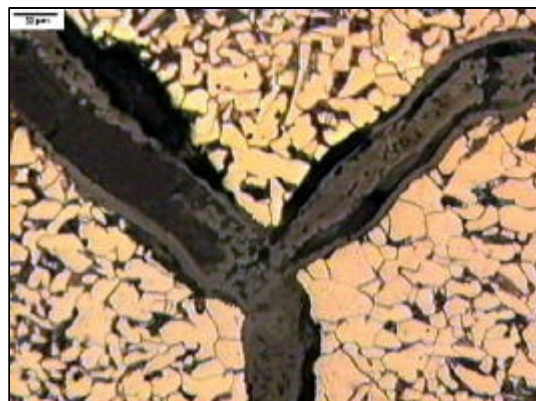


Fig. 156: Matriz ferrítico perlítica y escorias.

Es frecuente la presencia de escorias de calda a lo largo de toda la pieza, que indican la unión de dos o tres láminas de acero (Figs. 157 y 158).



Fig. 157: Escoria frontera de dos estructuras de distinto contenido en carbono.



Fig. 158: Escorias de menor tamaño frontera de microestructuras distintas.

La naturaleza de estas escorias direccionadas (Fig. 159) queda definida por el análisis EDS (Fig. 160), estando compuesta por silicio, manganeso, magnesio, calcio y hierro, y por lo tanto, es de naturaleza fayalítica, teniendo su origen en la mena mineral.

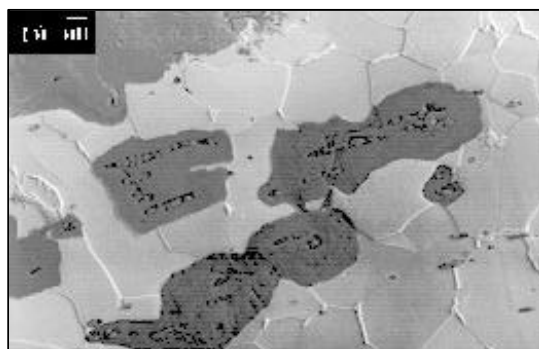


Fig. 159: Escorias dispuestas sobre matriz ferrítica.

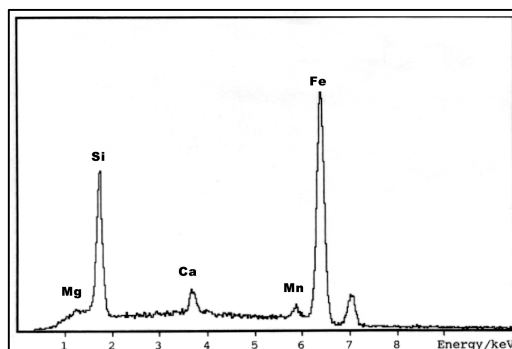


Fig. 160: Identificación EDS de los componentes de las escorias de la figura 159.

Sin embargo, también se presentan otras escorias en la frontera de separación de microestructuras de distinto contenido en carbono (Figs. 161, 162).

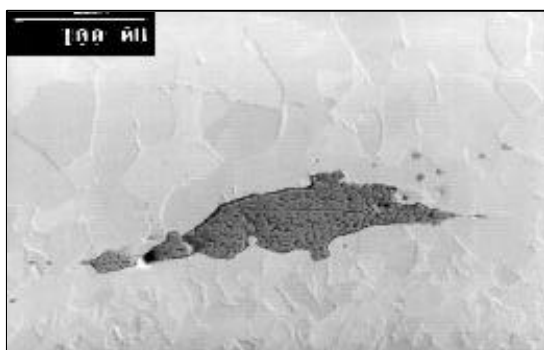


Fig. 161: Escoria frontera en microestructuras de distinto contenido en carbono.

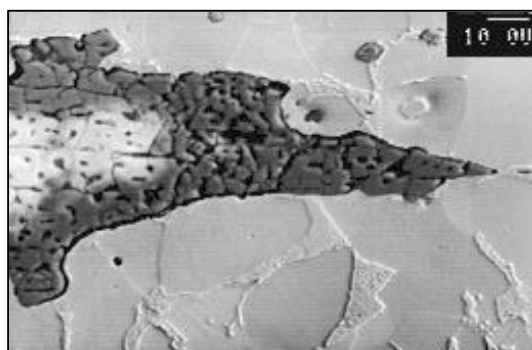


Fig. 162: Detalle de la escoria de la figura 161.

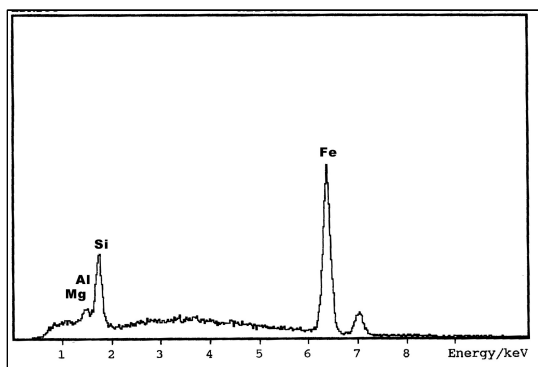


Fig. 163: Identificación EDS de los componentes de las escorias de la figura 162.

El análisis de este tipo de escorias (Fig. 163), indica la presencia de aluminio, silicio, hierro y magnesio, siendo mayoritaria la presencia de hierro (Tabla XXII). También se trata de una escoria de naturaleza fayalítica y cuyo origen es el mismo que el de la anterior.

Tabla XXII: Composición de la escoria.

ELEMENTO	% EN PESO
Al	7.88
Si	14.55
Fe	62.10
Mg	15.47
Total	100

Un hecho muy interesante, que se puede observar macroscópicamente (Fig. 164), es como una lámina ferrítica ha sido plegada sobre sí misma para darle forma al filo, aunque no sería erróneo pensar que el dueño de esta pieza, en algún momento, de su utilización la "melló" y posteriormente la tuvo que afilar mediante forja en frío con lo que el proceso deformó el grano ferrítico original (Figs. 165 y 166).

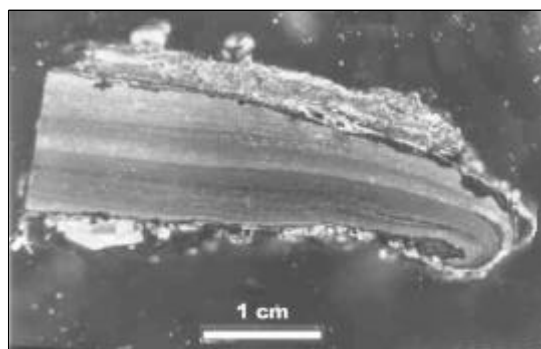


Fig. 164: Macrografía del filo del hacha.



Fig. 165: Matriz ferrítica de grano deformado.



Fig. 166: Escoria deformada en matriz ferrítica deformada.

La zona de filo presenta una microestructura ferrítico-bainítica con diferentes tamaños de grano (Figs. 167 y 168).

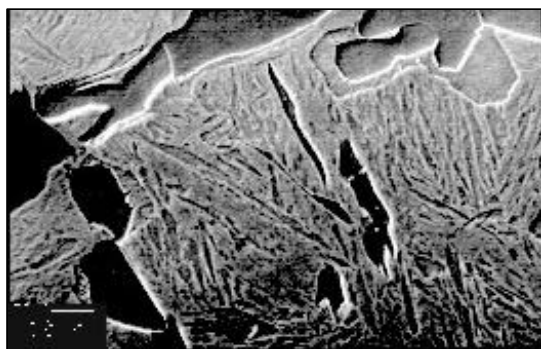


Fig. 167: Matriz ferrítico bainítica.

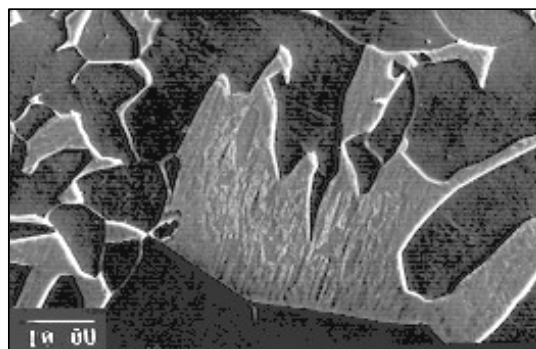


Fig. 168: Microestructura ferrítico bainítica de mayor proporción ferrítica.

Esta estructura ferrítico bainítica aparece deformada, según nos aproximamos a la zona de filo mellado (Figs. 169 y 170).

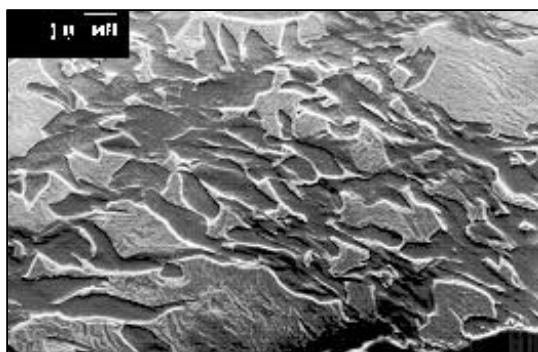


Fig. 169: Granos de ferrita y de bainita deformados

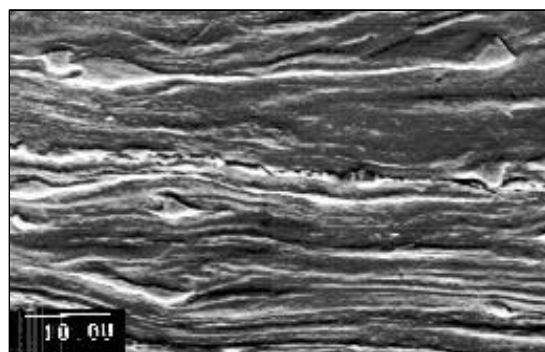


Fig. 170: Detalle de los granos de bainita deformados.

4.1.5.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que muestra la pieza (Fig. 171) en las secciones transversales estudiadas tienen distintas tendencias en función de la zona que estemos estudiando. Así en la zona de empuñadura, sección AB, (Fig. 172) se observan mayores valores de dureza en las bandas centrales que en las zonas periféricas de la sección. Por el contrario, en la zona de filo, sección CD (Fig. 173) los valores de dureza mayores se encuentran en las zonas externas.

Los valores de dureza disminuyen, en la zona central del hacha, desde la zona de empuñadura a la de filo (Fig. 174). El perfil de dureza que presenta la pieza no muestra los valores asociados a la fase bainítica presente en la microestructura, ya que se trata de una fase que aparece en zonas aisladas del filo. Para corroborar este hecho fueron llevadas a cabo medidas de microdureza Vickers que permitirán establecer los valores de dureza máximos correspondientes a cada fase microestructural. La ferrita presentó valores de 165- 172 HV, utilizando 100 gramos de carga, y la bainita presentó valores de 424- 530 HV, para las mismas condiciones de ensayo. Estas medidas nos indican que la bainita presente en la microestructura ferrítico- bainítica es una bainita de tipo superior.

4.1.5.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método tecnológico utilizado en la fabricación de esta pieza según los hechos observados, debió consistir en:

- ✍ Unir mediante calor y martillado de tres barras de hierro, dos de las cuales contienen la misma proporción de carbono y se situarían a ambos lados de la pieza, y otra en el centro de mayor contenido en carbono.
- ✍ Adelgazar la zona de filo y afilar.

Como esta pieza no conserva orificio de enmangue, la etapa de fabricación de esta zona no puede ser supuesta.

4.1.6 Cadena

4.1.6.1. CATALOGACIÓN

La cadena es una pieza (Fig. 175) que fue encontrada en el ala sur de la villa romana de "La Olmeda", habitación 21-1.

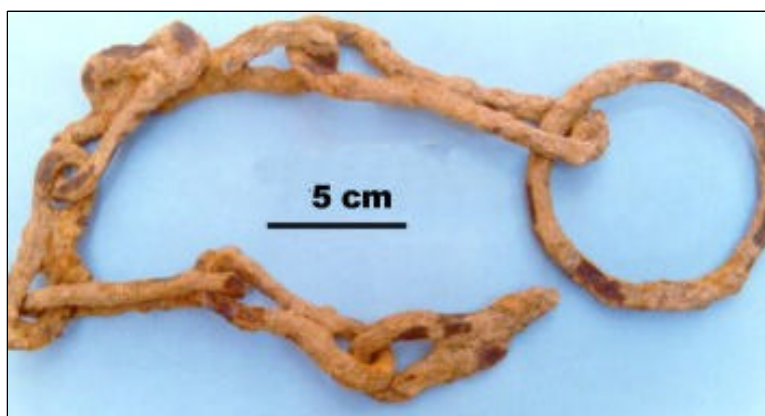


Fig. 175: Objeto catalogado como cadena.

Debido a la posible utilidad que debió tener esta pieza, en el campo de la ganadería en aquella época, se englobó dentro del grupo número 3, del catálogo de identificación de útiles hallados en la Villa, o grupo de atalajes de caballerías. Aunque tampoco quedaría excluida su catalogación dentro del grupo número 2, del catálogo de identificación de útiles hallados en la villa, o grupo de utillaje doméstico, ya que en el museo de la Olmeda en Saldaña se observó una cadena de similares características soportando un caldero sobre el hogar o fuego del hogar.

147. Fig.: Objeto catalogado como hacha.
148. Fig.: Difractograma de las tierras recogidas junto al hacha.
149. Fig. : Difractograma de las pátinas adheridas al hacha.
150. Fig. : Sección transversal del hacha con bandas de microestructuras diferentes.
151. Fig. : Sección del hacha con bandas de microestructuras diferentes.
152. Fig.: Matriz ferrítica con escorias direccionadas.
153. Fig.: Microestructura perlítica.
154. Fig.: Microestructura eutectoide.
155. Fig.: Matriz ferrítica con escoria.
156. Fig.: Matriz ferrítico perlítica.
157. Fig.: Escoria frontera de dos estructuras de distinto contenido en carbono.
158. Fig.: Escorias de menor tamaño frontera de microestructuras distintas.
159. Fig.: Escorias dispuestas sobre matriz ferrítica.
160. Fig.: Identificación de los componentes de las escorias de la figura .
161. Fig.: Escoria frontera en microestructuras de distinto contenido en carbono.
162. Fig.: Detalle de la escoria de la figura .
163. Fig.: Identificación de los componentes de las escorias de la figura .
164. Fig.: Macrografía del filo del hacha.
165. Fig.: Matriz ferrítica de grano deformado.
166. Fig.: Escoria deformada en matriz ferrítica.
167. Fig.: Matriz ferrítico bainítica.
168. Fig.: Microestructura ferrítico bainítica de mayor proporción ferrítica.
169. Fig.: Granos de ferrita y de bainita deformados
170. Fig.: Detalle de los granos de bainita deformados.
171. Fig.: Esquema del objeto.
172. Fig.: Perfil de dureza en la zona de empuñadura de la pieza.
173. Fig.: Perfil de dureza en la zona de filo de la pieza.
174. Fig.: Perfil de dureza en la sección longitudinal.
175. Fig. : Objeto catalogado como cadena.

XVIII. Tabla : Dimensiones e índices de hachas dadas por Lull.

XIX. Tabla : Dimensiones del Hacha.

XX. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al hacha.

XXI. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al hacha.

XXII. Tabla: Composición de la escoria.

104. QUESADA SANZ, F.: "Armamento, guerra y sociedad en la necrópolis ibérica de El Cabecico del Tesoro (Murcia, España)". Volumen I. BAR International Series 502 (I). (1989). pp: 202-207.

105. MADROÑERO DE LA CAL, A.; MARTÍN COSTEA, A.; LÓPEZ SERRANO, V.; GARCÍA CARCEDO, F. y ARLEGUI SÁNCHEZ, M. (): "Estudio arqueometalúrgico de útiles y restos minerometalúrgicos de hierro del yacimiento celtibérico de "Castilmontán" (Somaén, Soria)". Museo de Zaragoza. Boletín 11. Zaragoza. (1992). pp: 47 - 88.

7. LULL, V.: "La "Cultura" del Argar". AKAL editor. Madrid. (1983).

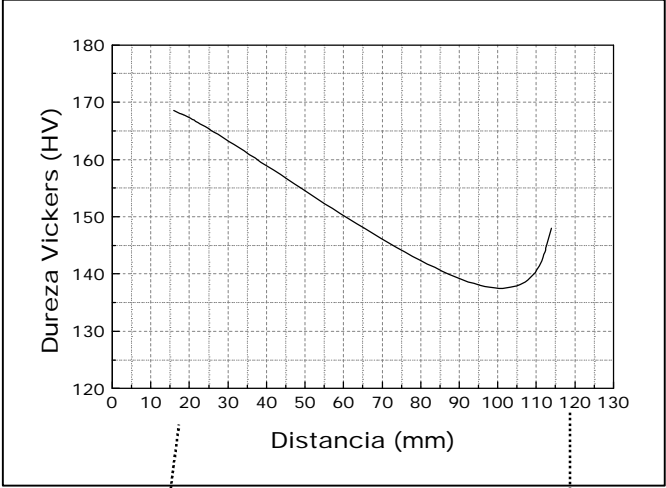


Fig. 174: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

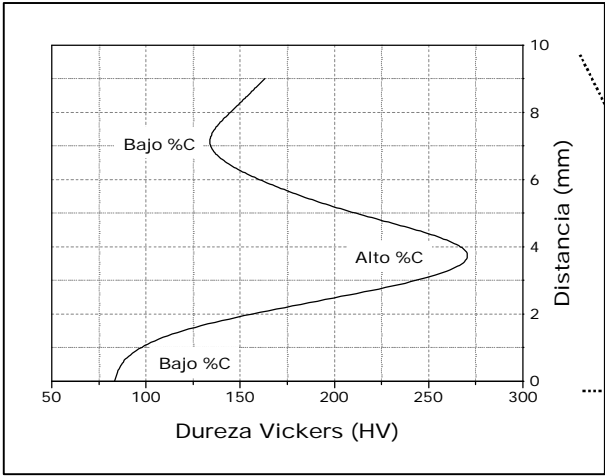


Fig. 172: Perfil de dureza en la sección AB de la figura 171.

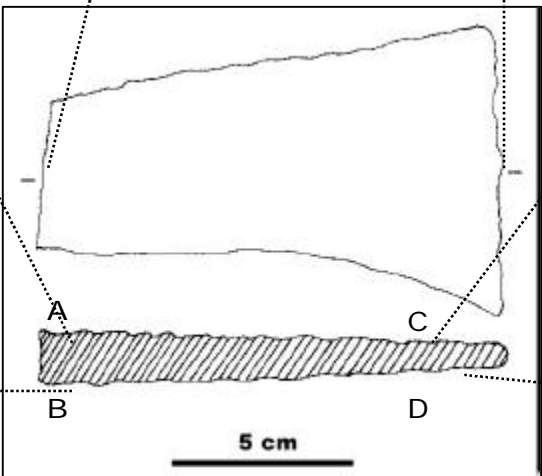


Fig. 171: Esquema del objeto.

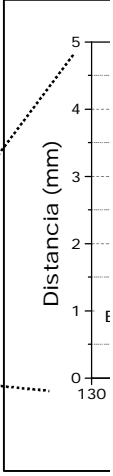


Fig. 173: figura 17

La pieza está formada por siete eslabones de sección cuadrada, que se estrechan en el centro dando la impresión de estar soldados. El último de estos eslabones, siendo el de mayor longitud, está unido a una anilla plana que es fácilmente explicable, si entendemos que este eslabón es el que más tensiones va a soportar [108]. El primer eslabón de la cadena está roto en la zona de estrechamiento y es el que se ha tomado para realizar su estudio metalográfico mediante microscopía óptica y electrónica.

Los valores dimensionales de esta cadena se recogen en la tabla XXIII:

Tabla XXIII: Dimensiones de la cadena.

PIEZA (mm)	ANILLA (mm)		ESLABONES (mm)		
Longitud	Diámetro	Grosor	Longitud	Ancho	Grosor
520	71.5	8	73.25-117.4	32.2-15.1	9.6

4.1.6.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

En la radiografía de esta pieza se pueden observar, como alguno de los eslabones presentaban grietas transversales (Fig. 176), además se puede distinguir los óxidos y/o pátinas que acompañan a la masa metálica y escorias de calda o uniones deformadas en la zona curva del eslabón.

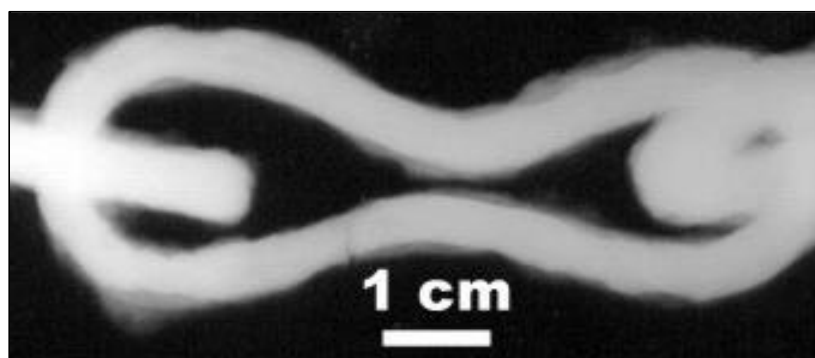


Fig. 176: Radiografía de un eslabón de la cadena.

Esta radiografía muestra que el eslabón no está soldado (unido) en la zona de estrechamiento, sino que solamente se aproximaron los dos lados pero sin llegar a unirlos por forja.

El eslabón, presenta una microestructura de matriz ferrítica con cementita terciaria precipitada en el límite de grano (Fig. 177) y con numerosos precipitados globulares en el interior del mismo. La naturaleza de estos precipitados es de silicatos de hierro con fósforo (Fig. 178).

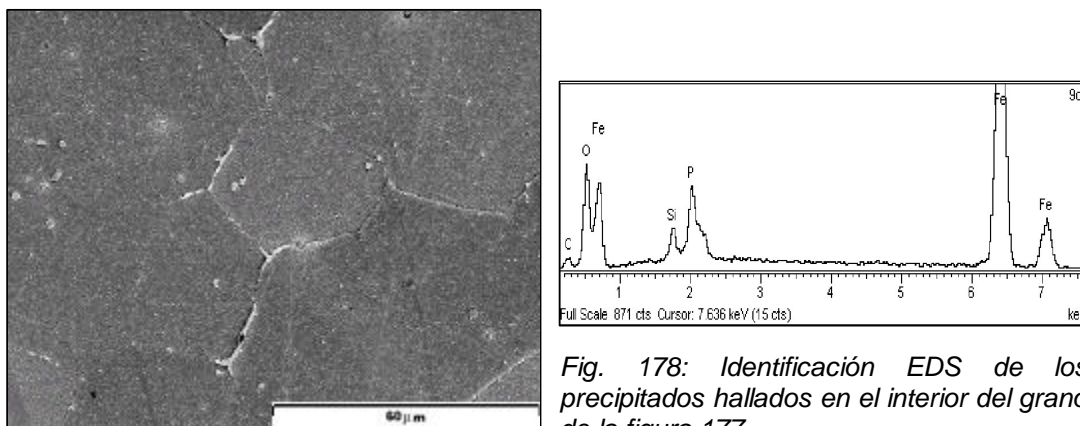


Fig. 177: Matriz ferrítica con precipitados en el interior del grano.

En las zonas externas del eslabón, el grano ferrítico se muestra deformado (Fig. 179) con gran cantidad de escorias, mientras que en las internas, su morfología es equiaxial (Fig. 180).

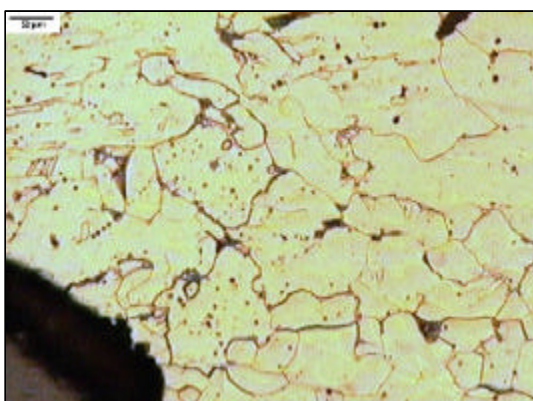


Fig. 179: Ferrita deformada con escorias.

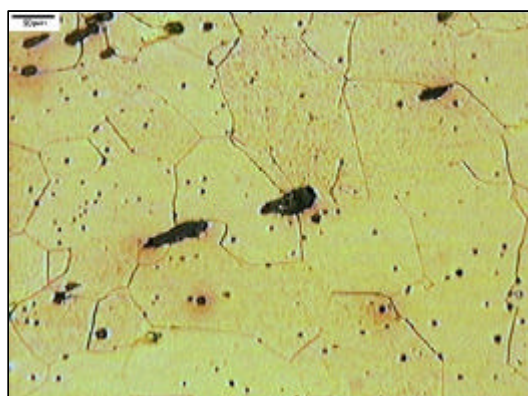


Fig. 180: Ferrita con morfología equiaxial.

Aisladamente, en algunas zonas de la sección se encuentran microestructuras ferrítico perlíticas de bajo contenido en carbono (Fig. 181).

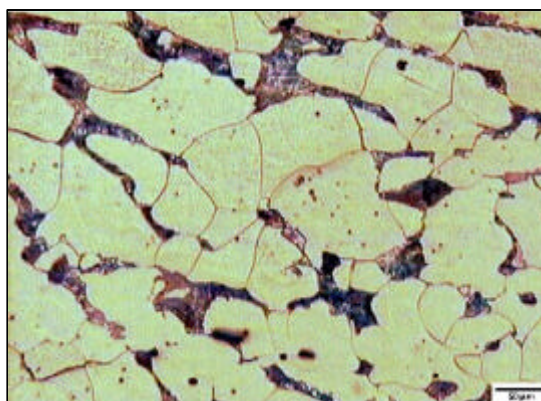


Fig. 181: Microestructura ferrítico perlítica.

Las escorias de wustita que fueron caracterizadas morfológicamente, se encuentran presentes en toda la microestructura en forma globulizada (Fig. 182).

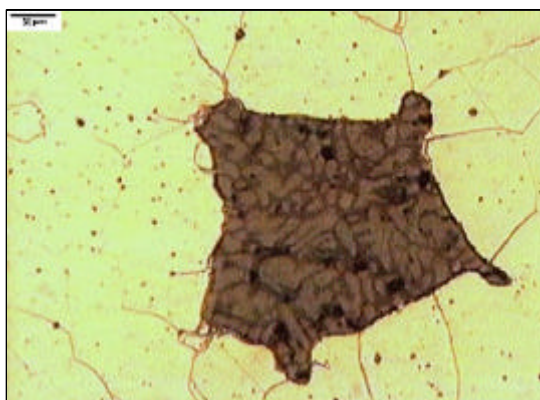


Fig. 182: Escoria wustítica.

Sin embargo el estudio de escorias de grano idiomórfico o poligonal (Fig. 183), presentes en el eslabón, indican que están formadas por óxidos mixtos de hierro, aluminio y magnesio (marcados como A en la figura 183) (Fig. 184) sobre una matriz (marcada como B en la figura 183) de silicatos mixtos (Fig. 185).

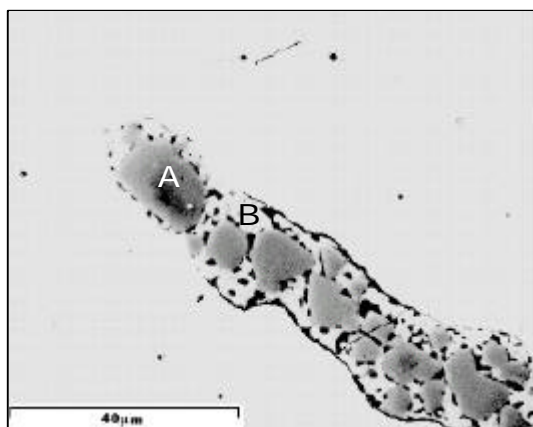


Fig. 183: Escoria de grano poligonal.

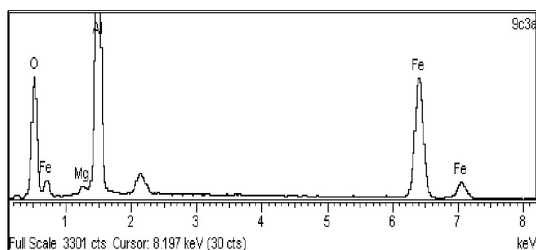


Fig. 184: Identificación EDS de la fase A presente en figura 183.

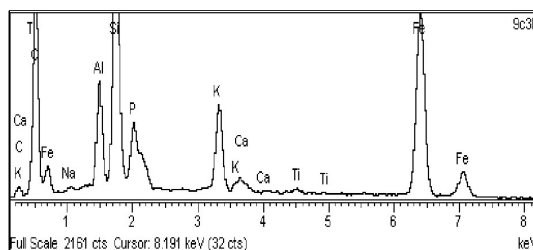


Fig. 185: Identificación EDS de la fase B presente en figura 183.

Por otra parte, las escorias esferoidizadas (Fig. 186) están formadas por óxidos de hierro (Fig. 187), en sus zonas externas se segregan compuestos de silicio y fósforo (Fig. 188).

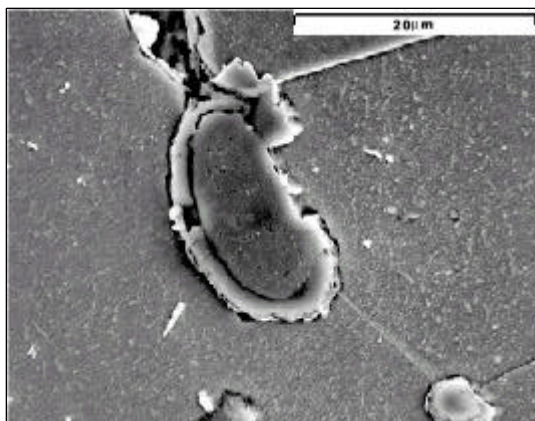


Fig. 186: Escoria esferoidizada.

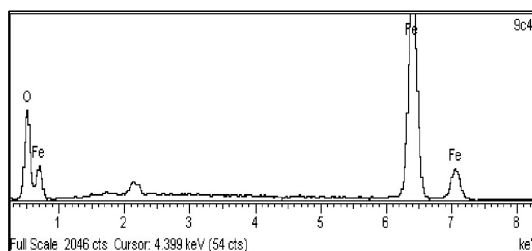


Fig. 187: Identificación EDS de fase esférica presente en figura 186.

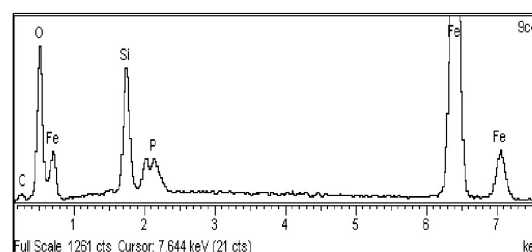


Fig. 188: Identificación EDS de la fase segregada presente en figura 186.

La presencia de fósforo en las escorias, indica un proceso poco tecnológico de fabricación, ya que el fósforo no es un elemento deseable en los aceros y es considerado como una impureza.

En la zona de curva de los eslabones, se detectó una estructura ferrítica con cementita terciaria en el límite de grano y numerosos precipitados en su interior. Además, presenta un mayor tamaño de grano en la zona interna del eslabón (Fig. 189) a diferencia de la externa cuyo tamaño de grano es menor (Fig. 190).

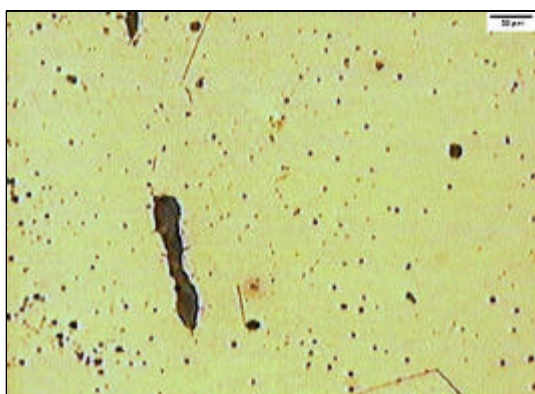


Fig. 189: Ferrita de gran tamaño de grano.

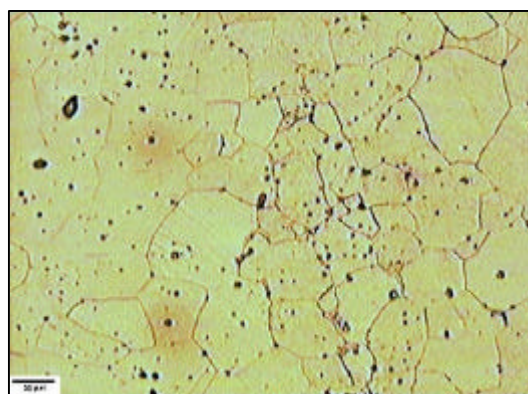


Fig. 190: Ferrita de distintos tamaños de grano.

4.1.6.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers, medidos sobre la sección del eslabón, muestran unos mayores valores de dureza en la zona curvada, pues tiene mayor deformación que la zona de unión de la pieza (Fig. 191). Estos valores están de acuerdo con las microestructuras obtenidas en el análisis metalográfico, de manera que cuando se miden sobre la ferrita equiaxial el valor de dureza se aproximaba a 108 HV y cuando se trata de ferrita deformada el valor de dureza asciende a 121 HV.

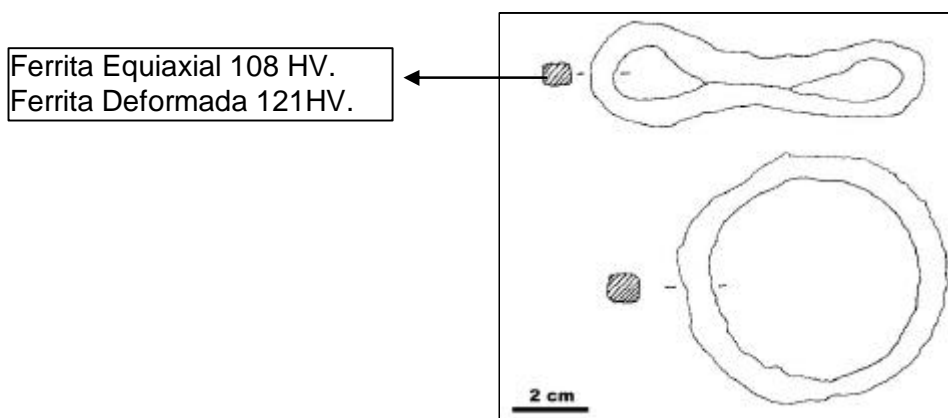


Fig. 191: Esquema del objeto.

4.1.6.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El proceso de fabricación del eslabón realizado por los herreros romanos consistiría en:

- ✍ Formar una barra, de un acero con muy bajo contenido en carbono, de pequeña sección a partir del tocho.
- ✍ Doblar o plegar la barra sobre un mandrino para que adopte la forma del mismo, sin alivio de tensiones que provocan el agrietamiento en las zonas curvadas del eslabón por acumulación de tensiones.
- ✍ Unir los dos extremos plegados sobre el mismo mandrino superponiéndolos y golpeando hasta que el material fuera forjado.

- 176. *Fig. : Radiografía de un eslabón de la cadena.*
- 177. *Fig. : Matriz ferrítica con precipitados intragranularmente.*
- 178. *Fig.: Identificación de los precipitados hallados.*
- 179. *Fig.: Ferrita deformada con escorias.*
- 180. *Fig.: Ferrita con morfología equiaxial.*
- 181. *Fig.: Microestructura ferrítico perlítica.*
- 182. *Fig.: Escoria con Wustita caracterizada morfológicamente.*
- 183. *Fig.: Escoria de grano poligonal.*
- 184. *Fig.: Identificación de fase A presente en figura .*
- 185. *Fig.: Identificación de fase B presente en figura .*
- 186. *Fig.: Escoria esferoidizada.*
- 187. *Fig.: Identificación de fase esférica presente en figura .*
- 188. *Fig.: Identificación de la fase segregada presente en figura .*
- 189. *Fig.: Ferrita de gran tamaño de grano.*
- 190. *Fig.: Ferrita de distintos tamaños de grano.*
- 191. *Fig.: Esquema del objeto.*

XXIII. *Tabla : Dimensiones de la cadena.*

- 108. ROVIRA, S.; CONSUEGRA, S. y MONTERO, I.: "Estudio arqueometalúrgico del tesorillo de Villafafila". Numantia. Investigaciones arqueológicas en Castilla y León, III. Junta de Castilla y León. Conserjería de Cultura y Bienestar Social. (1990)

4.1.7 Mango de Sítula

4.1.7.1. CATALOGACIÓN

El mango de situla (Fig. 192), fue encontrado en la galería sur del peristilo de la villa, demarcación C-5.



Fig. 192: Objeto denominado Mango de Sítula.

Este objeto se reconoció dentro del grupo número 2, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o utillaje doméstico, ya que se supone que esta pieza es un fragmento, asa o mango, de un cazo cuya utilidad puede ser en la cocina del hogar. También, se le puede dar una utilidad en pequeños trabajos de orfebrería, en la colada del metal nativo fundido, por lo cual quedaría catalogado dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o herramientas de oficios.

El fragmento de la pieza es alargado y de sección tetragonal y sus dimensiones son las mostradas en la tabla XXIV. El ancho de la pieza varía en la sección longitudinal, de forma que presenta los mayores valores en los extremos, los cuales disminuyen de forma importante en el centro.

Un extremo termina con dos salientes o apéndices, pequeños, curvados y estrechos, mientras que el otro extremo tiene forma de gota de agua.

Tabla XXIV: Dimensiones del Mango de Sítula.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Pieza	Apéndices
Longitud	230	15.33
Anchura	13.2 – 9.2	3.7
Grosor	8.9 – 4.3	4.3

4.1.7.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La difracción de rayos X realizada sobre esta pieza se hizo, tanto en las tierras como en los óxidos y/o pátinas que se encontraban presentes en la superficie de la pieza y las adheridas en una de las secciones.

Las tierras presentan un difractograma (Fig. 193) donde se muestran picos de intensidad que quedan identificados (Tabla XXV) como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34-1266), magnetita Fe_3O_4 (74-0748) y óxido de hierro FeO (06-0711).

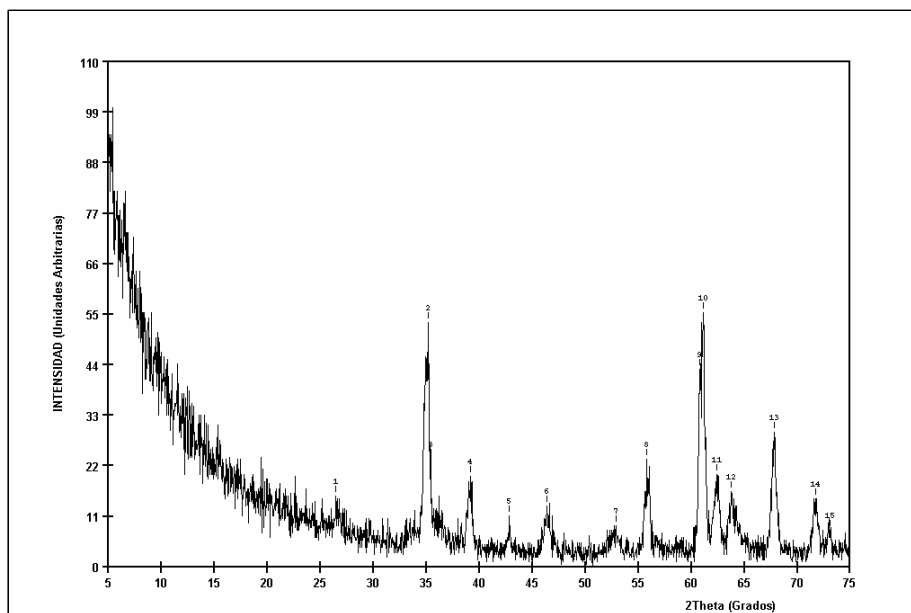


Fig. 193: Difractograma de las tierras que acompañaban al objeto.

Tabla XXV: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al mango de sítula.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.46	3.369	27.89	FeOOH	34-1266	3	1	0
2	35.18	2.551	96.1	FeOOH	34-1266	2	1	1
3	35.42	2.534	12.9	Fe_3O_4	74-0748	3	1	1
3	39.18	2.299	35.6	FeOOH	34-1266	3	0	1
4	42.86	2.110	20.2	Fe_3O_4	74-0748	4	0	0
5	46.38	1.958	24.0	FeOOH	34-1266	4	1	1
6	52.90	1.731	16.3	FeOOH	34-1266	4	3	1
7	55.82	1.647	42.3	FeOOH	34-1266	5	2	1
8	60.82	1.523	77.9	FeO	06-0711	1	0	4
9	61.14	1.516	100	FeO	06-0711	1	1	0
10	62.42	1.488	36.5	Fe_3O_4	74-0748	4	4	0
11	63.78	1.459	29.8	FeOOH	34-1266	2	0	2
12	67.82	1.382	52.9	Fe_3O_4	74-0748	4	4	2
13	71.74	1.316	26.9	FeO	06-0711	0	1	5
14	73.06	1.295	13.5	FeO	06-0711	1	1	3

Este tipo de fases minerales fueron identificadas a partir de las pátinas de corrosión que se desprendieron de la pieza en el proceso de catalogación.

Las pátinas adheridas a la pieza presentan un difractograma (Fig. 194) con picos de intensidad que quedan identificados como magnetita Fe_3O_4 (74-0748) y hierro (06-0711). (Tabla XXVI)

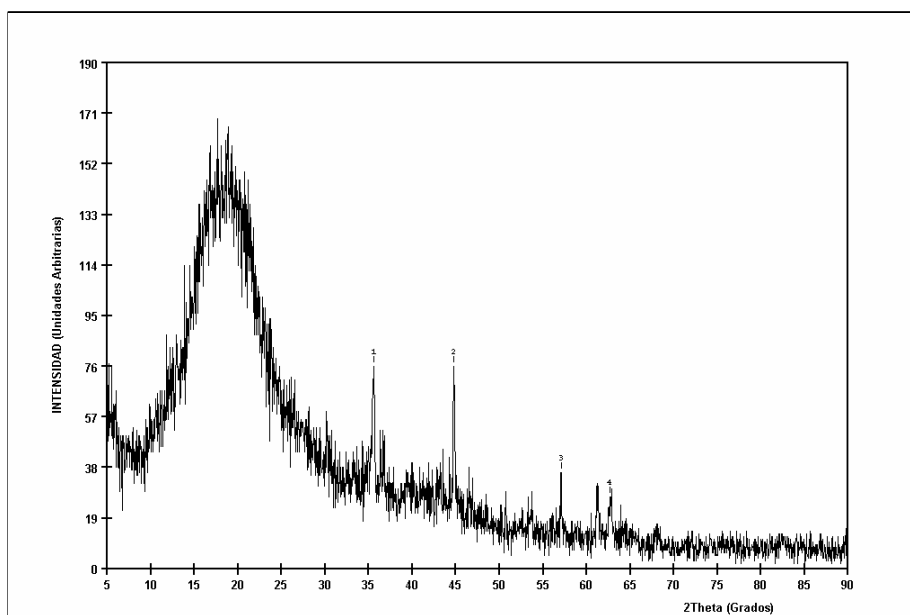


Fig. 194: Difractograma de las pátinas adheridas al objeto.

Tabla XXVI: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al mango.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	35.74	2.526	100	Fe_3O_4	74-0748	3	1	1
2	44.70	2.027	100	Fe	06-0696	1	1	0
3	57.10	1.613	47.4	Fe_3O_4	74-0748	3	3	1
5	62.66	1.483	35.5	Fe_3O_4	74-0748	4	4	0

4.1.7.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La radiografía obtenida del mango mediante el análisis radiológico (Fig. 195), indica que se trata de una única pieza, sin indicios de soldadura.

La diferencia de fases observadas en la radiografía, mediante diferentes tonos de grises, muestran los distintos grados de corrosión, que ha experimentado esta pieza.

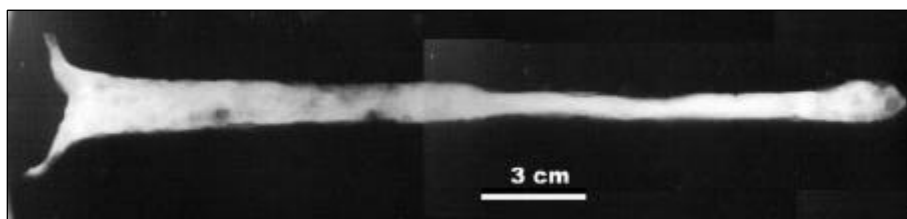


Fig. 195: Radiografía longitudinal del objeto.

En este objeto se realizaron estudios de dos secciones, las más extremas.

En el extremo donde supuestamente iría soldado el cacito, con doble apéndice, se observa una microestructura de matriz ferrítica deformada en los extremos (Fig. 196). En la zonas centrales de esta sección, la microestructura tiene más carbono (Fig. 197), con pequeñas variaciones en su contenido (Figs. 198 y 199).

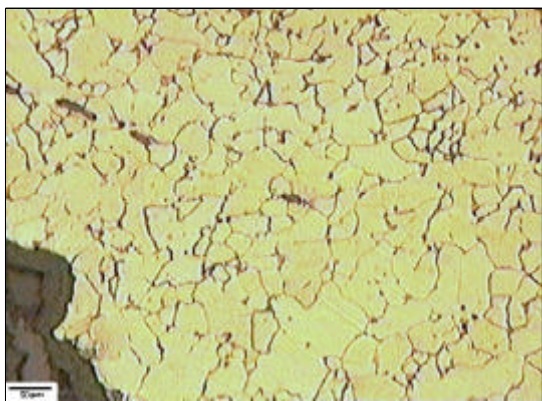


Fig. 196: Microestructura ferrítica de grano deformado.

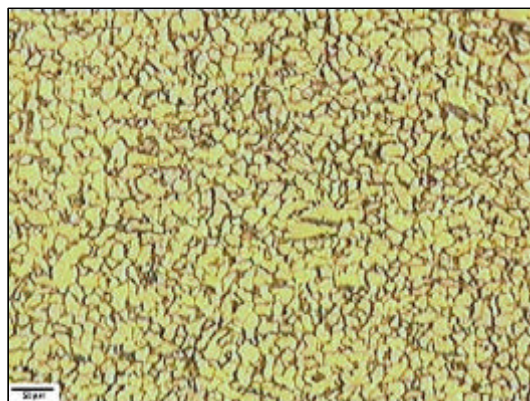


Fig. 197: Microestructura ferrítico perlítica de acero hipoeutectoide.

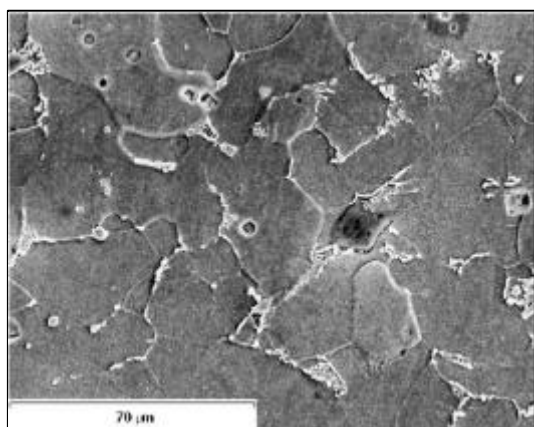


Fig. 198: Microestructura ferrítico perlítica de bajo contenido en carbono.

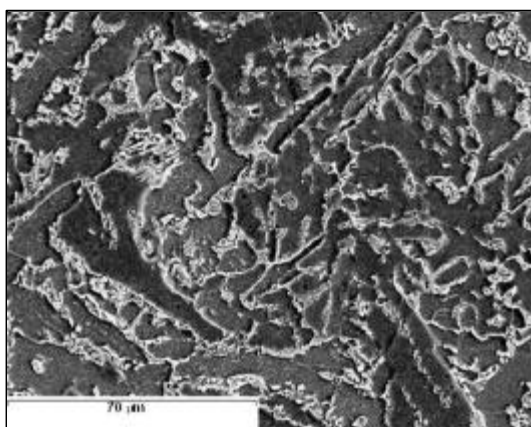


Fig. 199: Microestructura ferrítico perlítica de contenido en carbono medio.

El apéndice de unión al cazo presenta una microestructura ferrítica con abundantes escorias direccionadas tanto alargadas como nodulares (Fig. 200). El análisis de estas escorias alargadas, marcadas como A en la figura 201, indican que están compuestas de óxidos de hierro (Fig. 202). Sin embargo, las escorias nodulares (marcadas como B

en la figura 201) están constituidas por silicato de hierro y fósforo segregado (Fig. 203).

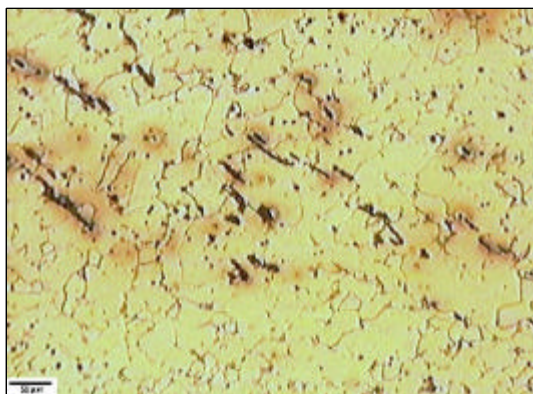


Fig. 200: Microestructura ferrítica con escorias direccionadas.

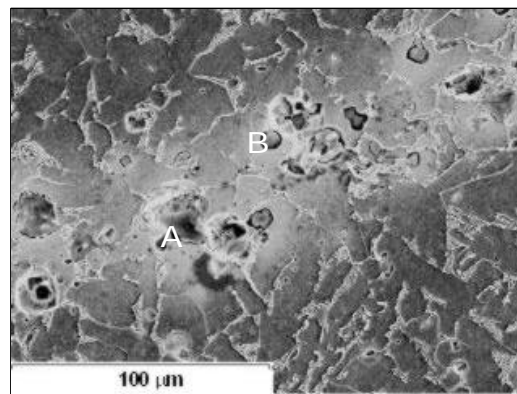


Fig. 201: Escorias direccionadas con morfología alargada y nodular.

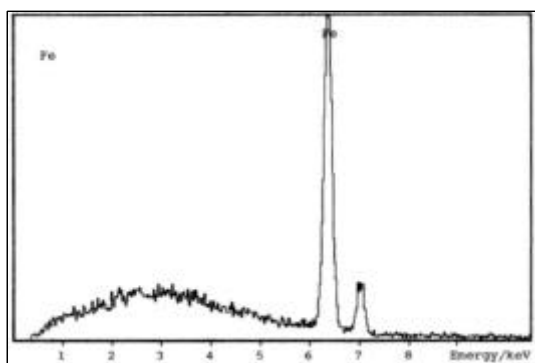


Fig. 202: Identificación EDS de las fases denominadas A en la figura 201.

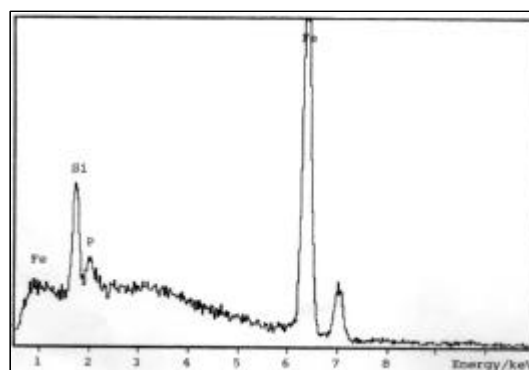


Fig. 203: Identificación EDS de las fases denominadas B en la figura 201.

También aparecen escorias de mayor tamaño y morfología nodular (Fig. 204), que están compuestas de silicato aluminico férrico (Fig. 205).

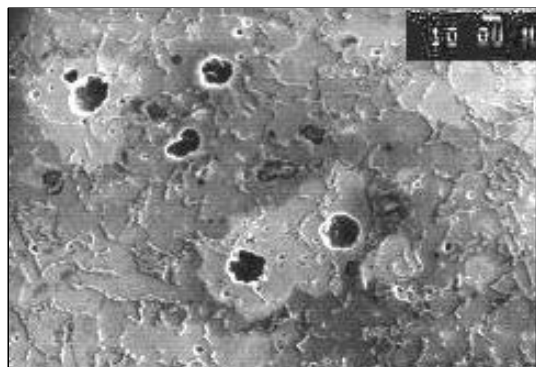


Fig. 204: Escorias de morfología nodular.

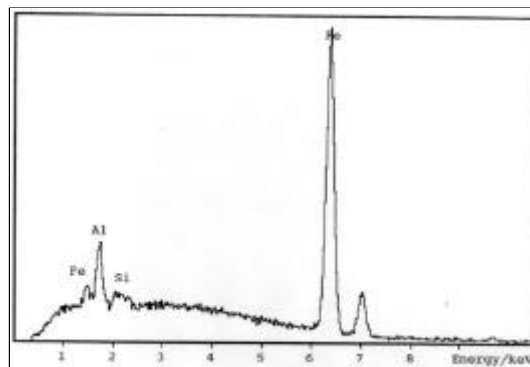


Fig. 205: Identificación EDS de las fases de las escorias de la figura 204.

En el otro extremo, por el cual se sustentaría el útil y que presenta macrográficamente una forma de gota, se observa, en las zonas periféricas de la sección, una microestructura ferrítica con carburos precipitados en el grano ferrítico (Fig. 206). Sin embargo, en el interior de dicha sección, se observa un incremento progresivo del contenido en carbono (Fig. 207), presentándose el grano en ocasiones deformado y con pequeño tamaño (Fig. 208), y otras veces acompañado con escorias direccionadas (Fig. 209).

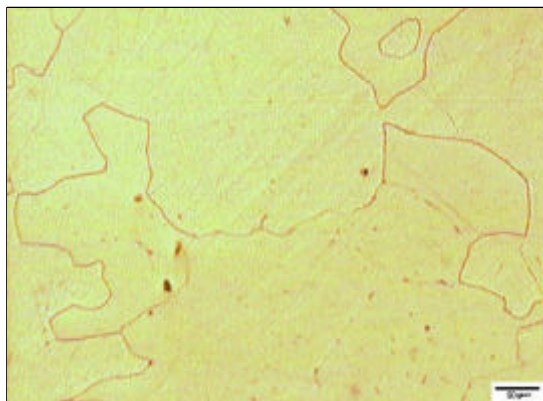


Fig. 206: Microestructura ferrítica de gran tamaño de grano.

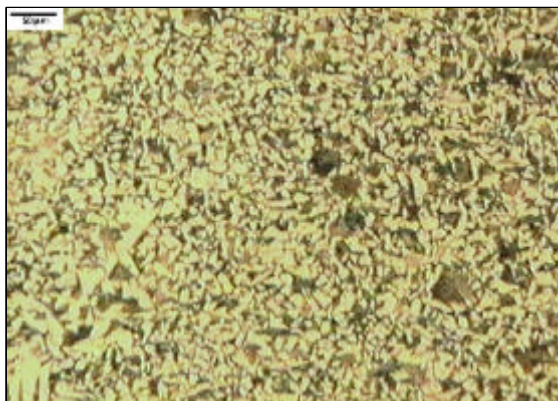


Fig. 207: Microestructura ferrítico perlítica.

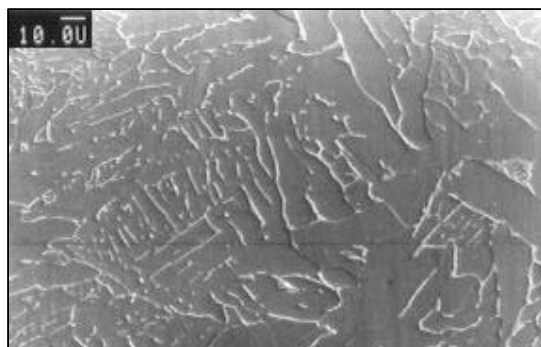


Fig.208 : Microestructura ferrítico perlítica de grano ferrítico deformado.

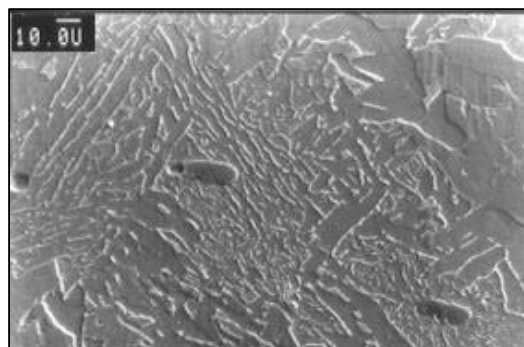


Fig. 209: Microestructura ferrítico perlítica con escorias direccionadas.

Las zonas centrales de la sección, poseen una estructura ferrítico perlítica con un mayor contenido en carbono (Fig. 210) y presenta una estructura ferrítica Widmanstätten (Fig. 211), producto de un enfriamiento rápido. Curiosamente, se aprecia una zona donde el límite de grano está asociado a una escoria que sirve de nucleación para la ferrita (Fig. 212).

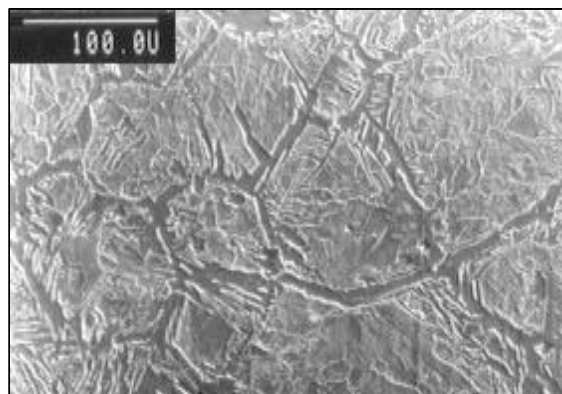


Fig. 210: Microestructura ferrítico perlítica con ferrita Widmanstätten.

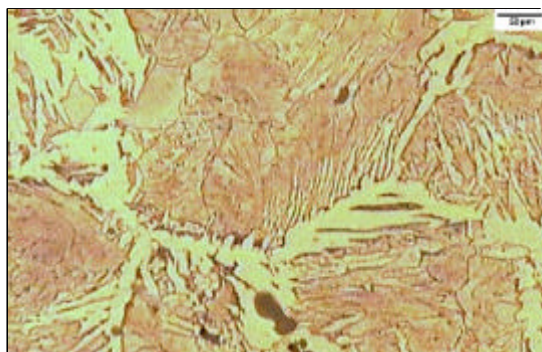


Fig. 211: Ferrita con estructura Widmanstätten.

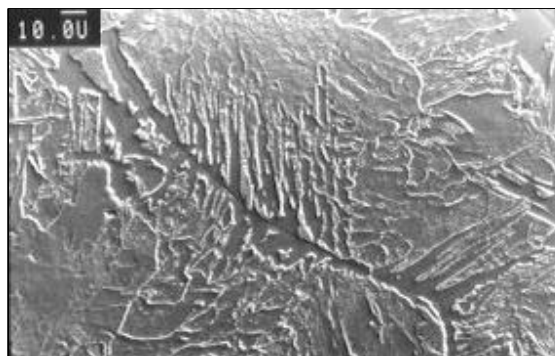


Fig. 212: Ferrita nucleando y creciendo en una grieta.

4.1.7.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que presenta este objeto (Fig. 213), toman diferentes perfiles en función de la sección en la cual se esté llevando a cabo el ensayo.

El estudio en las secciones transversales se ha realizado, tanto en la zona de solapamiento con el cacito, como en la zona de asidero.

El perfil de dureza en la zona de asidero (Fig. 214) presenta un máximo central y valores mínimos en los extremos. Sin embargo, la zona de solapamiento con el cacito (Fig. 215) muestra tres puntos máximos de dureza, dos más diferenciados y coincidentes con la finalización de los apéndices y otro menos diferenciable en el centro de la sección.

El perfil de dureza longitudinal (Fig. 216) muestra en la zona de asidero una tendencia ascendente al desplazarse al centro de la pieza, mientras que en la zona de solapamiento con el cacito mantiene valores de dureza prácticamente constante.

Los valores más altos de dureza corresponden a las microestructuras con más carbono, situadas en las zonas centrales de la sección, mientras que en las zonas ferríticas los valores se presentan constantes.

4.1.7.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método de fabricación llevado a cabo en el mango de situla consistiría en:

- ✍ Conformer la forma de la pieza a partir de una lámina de acero de contenido medio en carbono.
- ✍ Calentar en carbón vegetal, que provocaría la carburación de la pieza preferentemente o mayoritariamente en las zonas periféricas, y martillar la forma definitiva de la pieza, incluyendo la forma de los extremos.
- ✍ Enfriar al aire la pieza, logrando con esta velocidad de enfriamiento un estado térmico de la pieza de normalizado.

4.1.8 Cuchillo Afalcatado

4.1.8.1. CATALOGACIÓN

El cuchillo con forma afalcatada (Fig. 217) se encontró en la galería sur del peristilo de la villa, de forma particular en la habitación C-5.

Esta pieza pudo tener varios usos posibles, bien como arma de defensa, o bien como útil doméstico. Por este motivo, es difícil de reconocer en un único grupo del catálogo de identificación de hallazgos de la villa. Se clasificó en el grupo número 2, o grupo de utillaje doméstico, y también en el número 4, o grupo de armas.

El cuchillo puede ser englobado dentro del grupo de cuchillos denominados afalcatados, por su forma y características ?104?.



Fig. 217: Objeto denominado Cuchillo afalcatado.

Se trata de una pieza alargada, con una zona de empuñadura estrecha, corta y de sección circular, y con una hoja larga, ancha y en forma de semiluna. Las dimensiones de esta pieza se presentan en la tabla **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

192. *Fig.: Objeto denominado Mango de Sítula.*
193. *Fig.: Difractograma de las tierras que acompañaban al objeto.*
194. *Fig.: Difractograma de las pátinas adheridas al objeto.*
195. *Fig. : Radiografía longitudinal del objeto.*
196. *Fig. : Microestructura ferrítica de grano deformado.*
197. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de acero hipoeutectoide.*
198. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de bajo contenido en carbono.*
199. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de contenido en carbono medio.*
200. *Fig. : Microestructura ferrítico con escorias direccionadas.*
201. *Fig. : Detalle de las escorias direccionadas.*
202. *Fig. : Identificación de los componentes de las escorias denominadas A.*
203. *Fig. : Identificación de los componentes de las escorias denominadas B.*
204. *Fig. : Escorias de morfología nodular.*
205. *Fig. : Identificación de los componentes de las escorias de la figura .*
206. *Fig. : Microestructura ferrítica de gran tamaño de grano.*
207. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
208. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de grano ferrítico deformado.*
209. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica con escorias direccionadas.*
210. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica con ferrita Widmanstätten.*
211. *Fig. : Ferrita con estructura Widmanstätten.*
212. *Fig. : Ferrita nucleando y creciendo en grieta.*
213. *Fig.: Esquema del Mango de Sítula.*
214. *Fig. : Perfil de dureza en la zona de asidero (sección B) de la pieza.*
215. *Fig. : Perfil de dureza en la zona de unión con el cazo (sección A) de la pieza.*
216. *Fig. : Perfil de dureza de la sección longitudinal, según figura , de la pieza.*
217. *Fig. : Objeto denominado Cuchillo afalcatado.*

XXIV. *Tabla : Dimensiones del Mango de Sítula.*

XXV. *Tabla: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al mango.*

XXVI. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al mango.*

104. BLANCO-FREIJEIRO, A. y ROTHENBERG, B.: "Exploración arqueometalúrgica de Huelva". Río Tinto Minera S.A. Labor S.A. Huelva. (1981). pp: 262-273; 278.

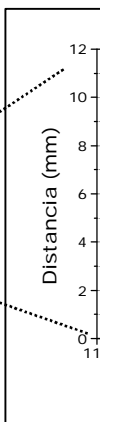
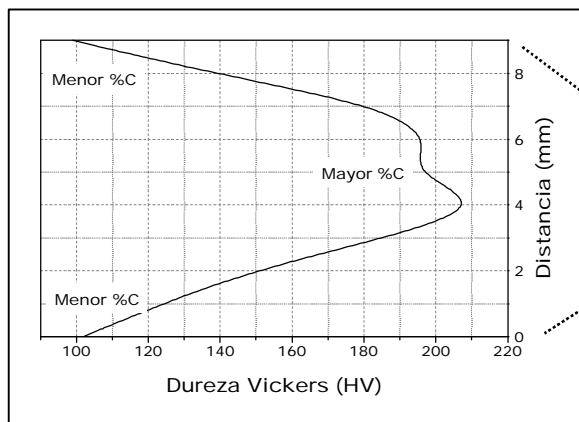
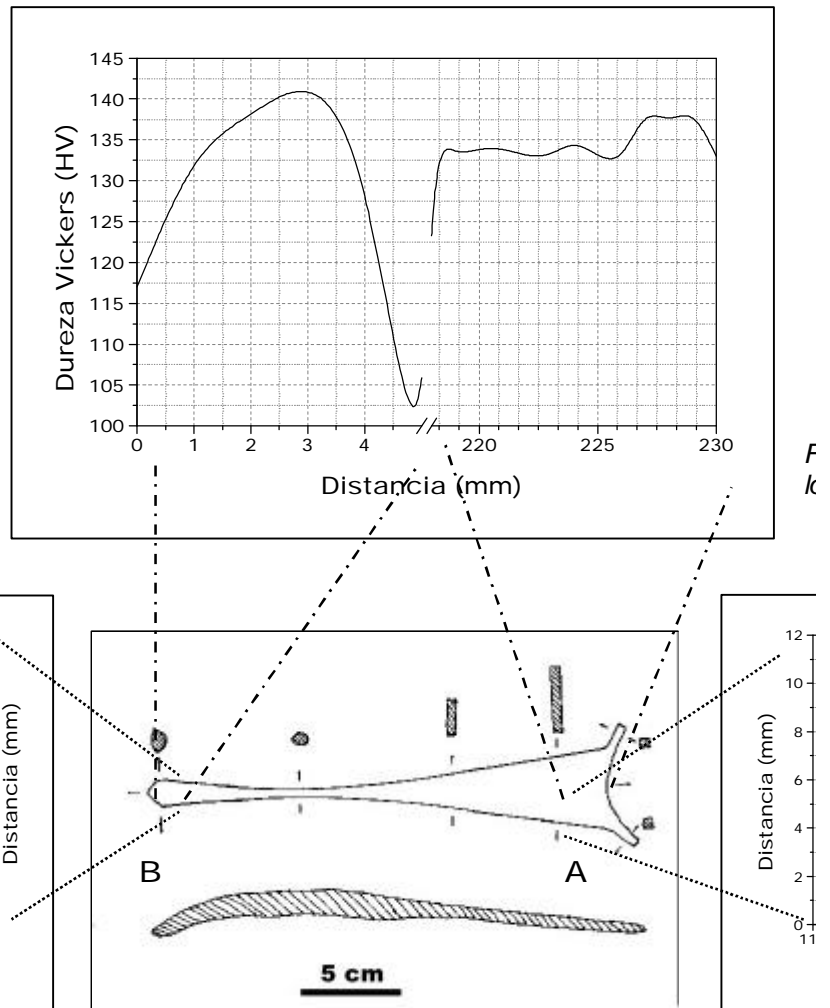


Fig. 214: Perfil de dureza en la zona de asidero (sección B) de la pieza.

Fig. 213: Esquema del Mango de Sítula.

Fig. 215: el cazo

Tabla XXVII: Dimensiones del cuchillo afalcatado.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	253
Anchura	36.06
Grosor del filo	1.81

Los cuchillos afalcatados se incluyen dentro de un apartado de complementos de armamento ?109?, puesto que se cree que ésta era su función, sin las implicaciones militares que tiene el resto de la panoplia, además de su función como utensilio doméstico. Este tipo de cuchillos son considerados como elementos de un prestigio considerable, exponente de estatus social elevado ?106?.

El material metálico en el cual esta fabricados los cuchillos afalcatados, hallados en otros yacimientos es muy variada:

- ? Hallándose un cuchillo afalcatado de hierro [17], en la necrópolis del yacimiento del Puntal de Salinas.
- ? La falcata de Almedinilla está formada por tres franjas de acero soldadas entre sí, en los que el %C de las tres franjas es diferente [110].
- ? En la provincia de Huelva ?104? se han encontrado cuchillos afalcatados de bronce con empuñadura de hierro.

Algunos autores ?13?, caracterizan de forma común estos objetos por poseer un dorso plano acodado, un sólo filo y sección triangular. Además, la hoja suele ser más ancha en la mitad más próxima a la punta. La variedad de tamaños es relativamente grande, desde los 10 cm a los 18,3 cm de longitud. Para el empuñadura, la mayor parte de las piezas de este grupo, tienen en su parte posterior una zona aplanada con dos agujeros que permiten la unión o acoplamiento a otras piezas (mango) mediante técnicas de remachado.

En Castilmontan ?107?, se hizo un estudio de un fragmento de cuchillo afalcatado de un ámbito celtibérico, donde las pérdidas de masa metálica en el filo, provocadas por procesos de corrosión, son más acusadas que en otras zonas debido a su menor espesor. Este tipo de proceso que degrada las superficies de las piezas es común con otros cuchillos encontrados [105], lo que ha dificultado en gran cantidad de casos la recogida de información que permita establecer un mecanismo de fabricación de los mismos.

La clasificación de cuchillos basada en la morfología la establece Lull ?7? basándose en la diferencia de tamaño y número de remaches que poseen (Tabla XXVIII).

Tabla XXVIII: Caracterización de cuchillos (Lull)

	ESPADAS	CUCHILLOS - PUÑALES
Anchura	> 5.4 cm	< 5.4 cm
Longitud	> 24 cm	< 20 cm
Número de remaches	5 - 6	Indistinto

El cuchillo afalcado objeto de estudio, queda englobado según estas dimensiones dentro del grupo cuchillos-puñales, porque si bien su longitud es ligeramente superior (25 cm), la anchura (3.6 cm) y el número de remaches (0) confirma que pertenece a este grupo.

4.1.8.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se ha realizado un análisis químico mediante difracción de rayos X en el cuchillo. Para ello, se han analizado tanto las tierras como los óxidos y/o pátinas que se encontraban presentes en la superficie de la pieza, antes de llevar a cabo la etapa de consolidación.

El difractograma de las tierras que acompañan al cuchillo (Fig. 218) muestran picos de intensidad que quedan identificados (Tabla XXIX) como calcita CaCO_3 (72-1650). Este compuesto constituye uno de los componentes de las arenas donde queda ubicado el yacimiento.

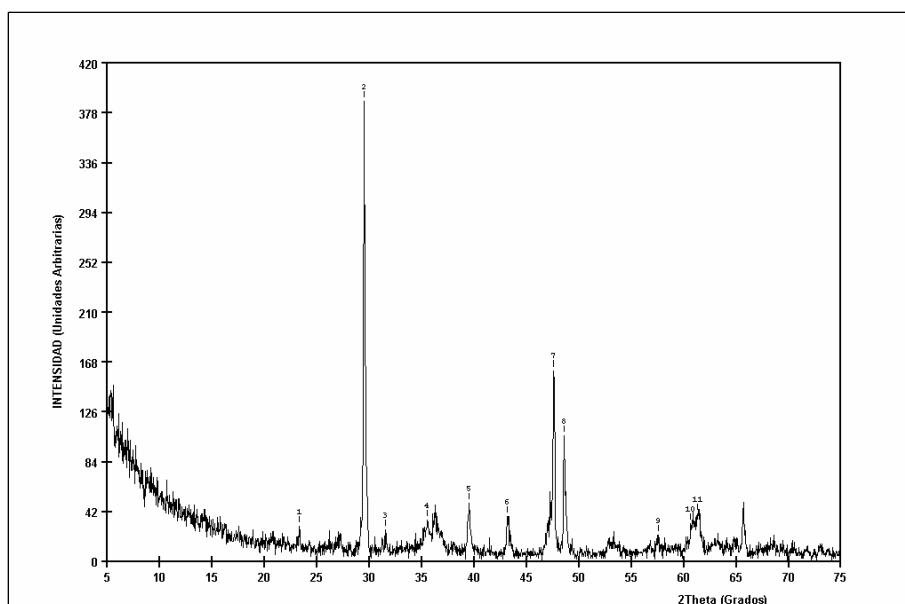


Fig. 218: Difractograma de las tierras que acompañan al cuchillo.

Tabla XXIX: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cuchillo.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	23.30	3.818	7.7	CaCO ₃	72-1650	0	1	2
2	29.54	3.024	100	CaCO ₃	72-1650	1	0	4
3	31.50	2.840	6.9	CaCO ₃	72-1650	0	0	6
4	35.54	2.526	9.0	CaCO ₃	72-1650	1	1	0
5	39.54	2.279	12.6	CaCO ₃	72-1650	1	1	3
6	43.18	2.095	9.8	CaCO ₃	72-1650	2	0	2
7	47.58	1.911	41.5	CaCO ₃	72-1650	0	1	8
8	48.62	1.873	27.3	CaCO ₃	72-1650	1	1	6
9	57.58	1.601	5.7	CaCO ₃	72-1650	1	2	2
10	60.66	1.527	8.2	CaCO ₃	72-1650	2	1	4
11	61.30	1.512	10.3	CaCO ₃	72-1650	2	0	8

El difractograma de las pátinas adheridas a la pieza (Fig. 219), muestran picos que quedan identificados (Tabla XXX) como cuarzo SiO₂ (33-1161), akagenita FeO(OH) (34-1266), magnetita Fe₃O₄ (74-0748) y hierro (06-0696).

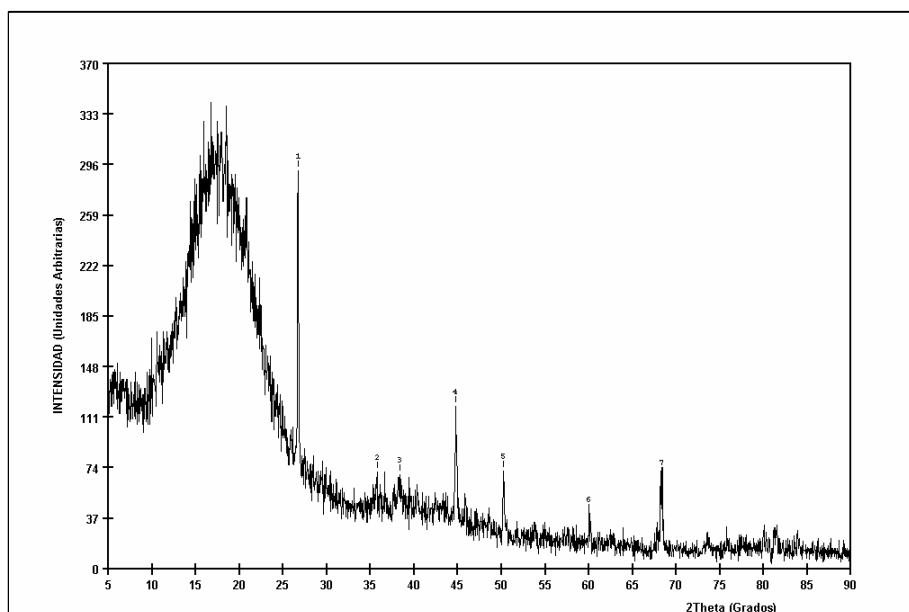


Fig. 219: Difractograma de las pátinas adheridas al cuchillo.

La identificación señala al cuarzo como componente de los suelos que conforman el yacimiento y a la akagenita y magnetita como componentes de las pátinas de corrosión.

Tabla XXX: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al cuchillo.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.70	3.339	100	FeOOH	34-1266	3	1	0
2	35.74	2.512	15.6	Fe ₃ O ₄	74-0748	3	1	1
3	38.34	2.348	14.7	FeOOH	34-1266	4	2	0
4	44.74	2.026	37.6	Fe	06-0696	1	1	0
5	50.22	1.817	33	SiO ₂	33-1161	1	1	2
6	59.98	1.542	18.3	SiO ₂	33-1161	2	1	1
7	68.34	1.373	30.7	SiO ₂	33-1161	3	0	1

4.1.8.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

En la radiografía de este objeto (Fig. 220) se aprecian los diferentes constituyentes que denotan los distintos productos de corrosión que la acompañan, además de una grieta transversal que parte del filo y se propaga hacia el interior del cuchillo.

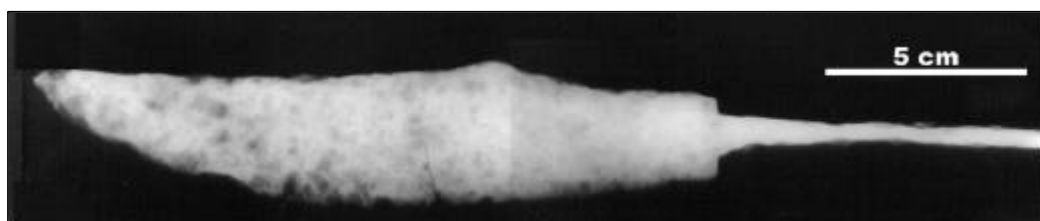


Fig. 220: Radiografía frontal del objeto.

En este cuchillo se observa la zona de empuñadura y la hoja formando parte de una única pieza; dado que no se ha detectado ningún tipo de defecto típico de soldadura en la zona de unión, observados en piezas anteriormente estudiadas y fabricadas a partir de este proceso.

En la sección transversal de la hoja, aparecen dos microestructuras con distinto contenido en carbono, las cuales se encuentran separadas mediante escorias (Fig. 221). Una de ellas, de acero hipoeutectoide de bajo contenido en carbono (0.1 % aproximadamente), es ferrítica y posee grano alargado y cementita (perlita) (Fig. 222). La otra estructura es ferrítico perlítica, con un contenido en carbono de aproximadamente de 0.3 – 0.4% (Fig. 223) y con perlita globulizada (Fig. 224).

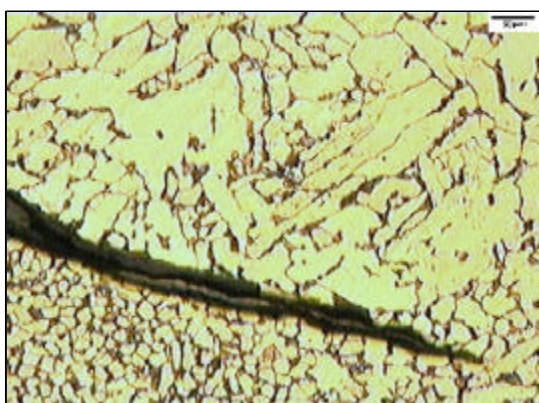


Fig. 221: Escoria entre dos microestructuras de distinto contenido en carbono.

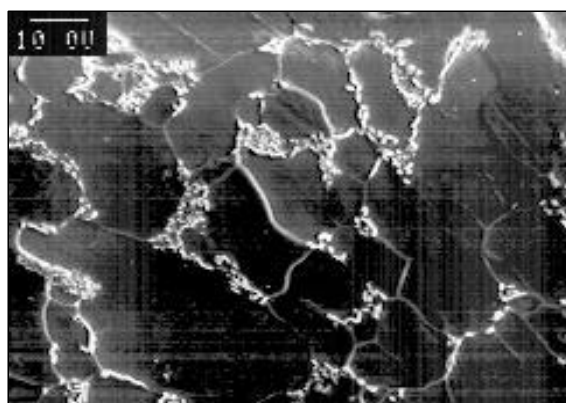


Fig.222: Microestructura de acero hipoeutectoide.

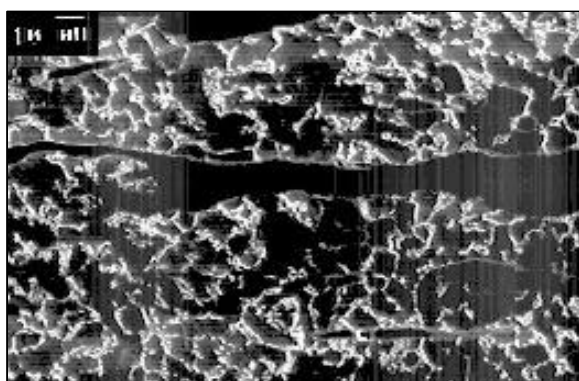


Fig. 223: Microestructura ferrítico perlítica.

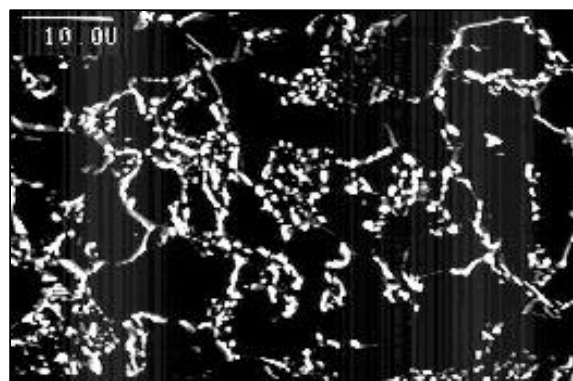


Fig. 224: Detalle de perlita globulizada.

Estas microestructuras conforman dos bandas longitudinalmente dispuestas, que van desde el lomo de la hoja y llegan hasta la zona de filo donde se presentan pequeñas variaciones microestructurales, respecto a las comentadas, válidas para toda la pieza.

Por un lado, la microestructura hipoeutectoide, anteriormente estudiada, pasa a presentarse en forma de ferrita con grano de diferente tamaño (Fig. 225) que contienen escorias no eliminadas, y que durante el proceso de fabricación han sido deformadas, tomando morfologías alargadas (Fig. 226).

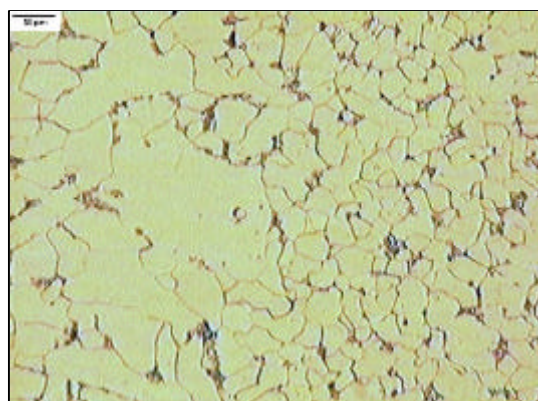


Fig. 225: Ferrita de grano deformado.

Por otro lado la banda ocupada por una microestructura con mayor contenido en carbono, pasa en la zona de filo a presentar una estructura de perlita grosera (Fig. 227).

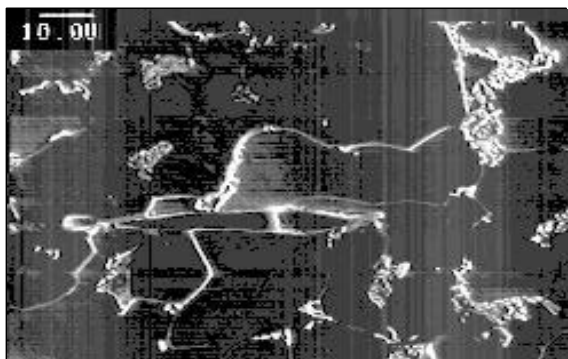


Fig. 226: Escoria deformada.

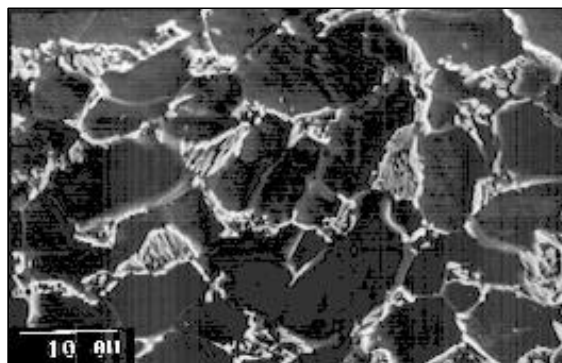


Fig. 227: Colonias perlíticas en límite de grano.

4.1.8.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers realizadas sobre las áreas mostradas en el esquema del cuchillo de la figura 228, muestran que en la sección transversal (sección AB) existen dos tendencias en los mismos (Fig. 229) debidas a la diferencia en el contenido de carbono de las microestructuras presentes en las zonas analizadas. De manera que las microestructuras de menor contenido en carbono, ferríticas, presentan valores medios de 115 HV, mientras que las zonas transversales con mayor contenido en carbono, ferrítico perlíticas, llegan a alcanzar valores de 155 HV.

Se comprobó una disminución del valor de durezas al acercarnos al filo, estudiando la sección AC de la pieza (Fig. 230). Esta tendencia se explica a tenor de los procesos de degradación natural en las zonas de menor espesor de la pieza.

4.1.8.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El proceso tecnológico utilizado en la fabricación del cuchillo consistiría en:

- ✍ Conformer la hoja y mango del cuchillo (sin soldadura) a partir de una barra de un acero, que podría ser ferrítico o bien ferrítico - perlítico, mediante martilleado.
- ✍ Añadir, posterior o anteriormente, una lamina de material ferrítico, para engrosar la hoja del cuchillo.
- ✍ Conformer el filo de la pieza mediante un calentamiento local (a temperatura por encima de 723°C) para dar forma y transformar la perlita en forma globulizada en laminar, aportando así a esta parte de la pieza una mayor dureza, necesaria para su aplicación.

- 218. *Fig. : Difractograma de las tierras que acompañan al cuchillo.*
- 219. *Fig. : Difractograma de las pátinas adheridas al cuchillo.*
- 220. *Fig. : Radiografía frontal del objeto.*
- 221. *Fig. : Escoria entre dos microestructuras de distinto contenido en carbono.*
- 222. *Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide.*
- 223. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 224. *Fig. : Detalle de perlita globulizada.*
- 225. *Fig. : Ferrita de grano deformado.*
- 226. *Fig. : Escoria deformada.*
- 227. *Fig. : Colonias perlíticas en límite de grano.*
- 228. *Fig. : Esquema del objeto*
- 229. *Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección longitudinal.*
- 230. *Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección transversal.*

XXVII. *Tabla : Dimensiones del cuchillo afalcatado.*

XXVIII. *Tabla : Caracterización de cuchillos (Lull)*

XXIX. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan .*

XXX. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al llo.*

- 13. KURTZ, W.S.: "La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)". Volumen I. BAR international Series 344. (1987).
- 17. J. M. SOLER, "El poblado ibérico del puntal de Salinas (Alicante)", Estudios de Arqueología Ibérica y romana, Homenaje a Enrique Plá Ballester, Servicio de investigación prehistórica de Valencia, Series de trabajos varios , Número 89, (1992), pp: 51 - 72.
- 104. BLANCO-FREIJEIRO, A. y ROTHENBERG, B.: "Exploración arqueometalúrgica de Huelva". Río Tinto Minera S.A. Labor S.A. Huelva. (1981). pp: 262-273; 278.
- 105. MALUQUER, J.: "El poblado hallstático de Cortés de Navarra". Estudio crítico I. Diputación foral de Navarra. Institución "Príncipe de Viana". Editorial Gómez. Pamplona. (1958). pp: 133 - 137.
- 106. QUESADA SANZ, F.: "Armamento, guerra y sociedad en la necrópolis ibérica de El Cabecico del Tesoro (Murcia, España)". Volumen I. BAR International Series 502 (I). (1989). pp: 202-207.
- 107. MADROÑERO DE LA CAL, A.; MARTÍN COSTEA, A.; LÓPEZ SERRANO, V.; GARCÍA CARCEDO, F. y ARLEGUI SÁNCHEZ, M. (): "Estudio arqueometalúrgico de útiles y retos minerometalúrgicos de hierro del yacimiento celtibérico de "Castilmontán" (Somaén, Soria)". Museo de Zaragoza. Boletín 11. Zaragoza. (1992). pp: 47 - 88.
- 108. ROVIRA, S.; CONSUEGRA, S. y MONTERO, I.: "Estudio arqueometalúrgico del tesorillo de Villafafila". Numantia. Investigaciones arqueológicas en Castilla y León, III. Junta de Castilla y León. Conserjería de Cultura y Bienestar Social. (1990)
- 109. CORTELL, E.; JUAN, J.; LLOBREGAT, E.; REIG, C.; SALA, F. y SEGURA, J. M.: "La necrópolis ibérica de la serreta: Resumen de la campaña de 1987". Estudios de Arqueología Ibérica y romana. Homenaje a Enrique Plá Ballester. Servicio de investigación prehistórica. Series de trabajos varios. Num 89. Diputación provincial de Valencia. Valencia. (1992). pp: 83 - 116.
- 110. Nieto, G. y Escalera A. Estudio y tratamiento de una falcata de Almedinilla. Informes y trabajos vol 10 1970 Madrid, pp 5 - 30
- 7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).

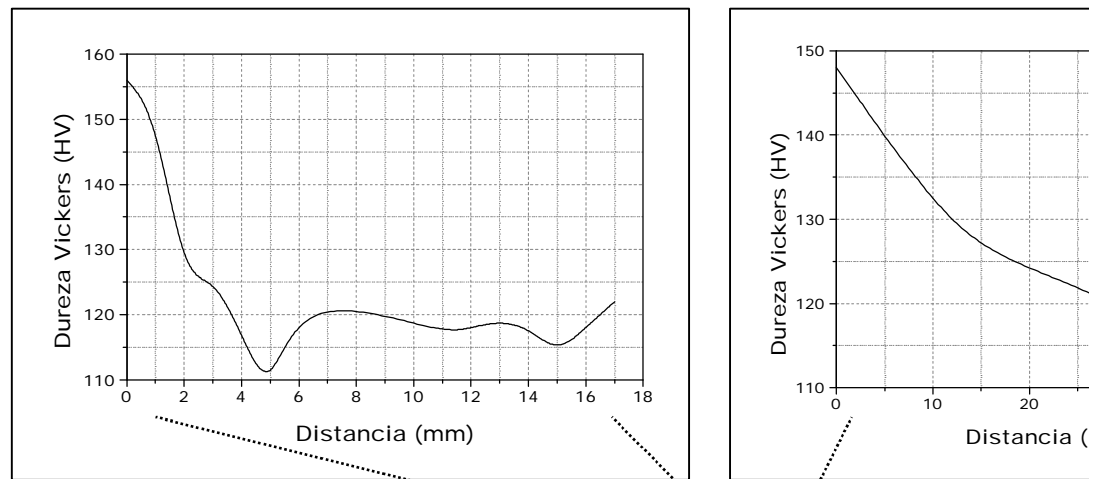


Fig. 229: Perfil de dureza Vickers en la sección AB de la figura 228.

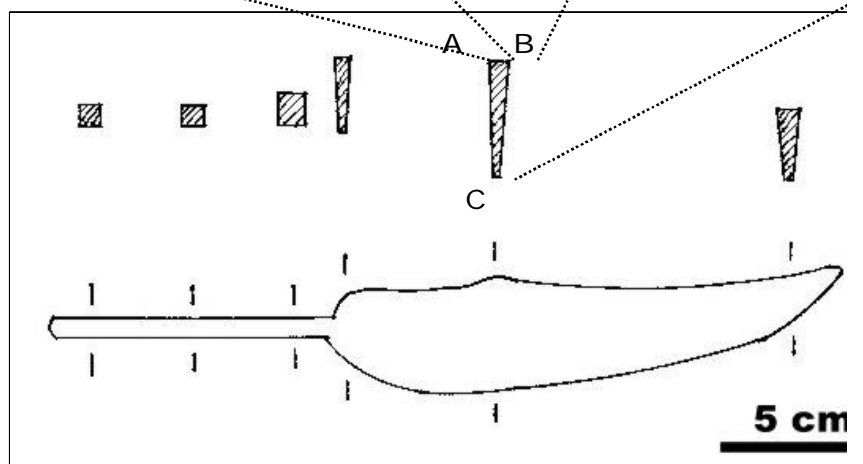


Fig. 228: Esquema del objeto

4.1.9 Hacha Nº 14

4.1.9.1. CATALOGACIÓN

El hacha identificada con el número 14 (Fig. 231), fue encontrada en el ala norte de la villa romana de "La Olmeda", habitación 14-3.



Fig. 231: Objeto catalogado como hacha nº 14.

Debido a la posible utilidad que tendría esta pieza en el campo de la agricultura, en aquella época, se englobó dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de útiles hallados en la Villa, o grupo de herramientas como aperos de labranza.

Es una pieza pequeña en forma de hacha sin orificio de enmangue.

Las dimensiones de este hacha se recogen en la tabla XXXI:

Tabla XXXI: Dimensiones del hacha nº 14.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	83.18
Anchura	40 – 60.25
Grosor	16.25 – 2.92

Al igual que se hizo con el hacha número 7, estudiada en el apartado 4.1.5, ésta pieza presenta, según Lull [7], un ángulo de 0.24 y un área de 41.7 cm², con lo cual quedaría englobada dentro del tipo I y del subtipo IP. El índice nuevo, que se denomina de exvasamiento, toma el valor de 0.66.

4.1.9.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

El estudio microestructural en las secciones transversales del hacha (Fig. 232 y 233) muestran, macroscópicamente, la presencia de bandas o láminas paralelamente dispuestas con diferente contenido en carbono y separadas mediante escorias alargadas, grietas o faltas de material.

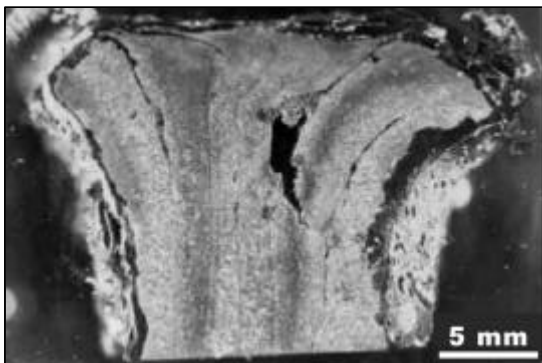


Fig. 232: Sección transversal del objeto en la zona de talón.

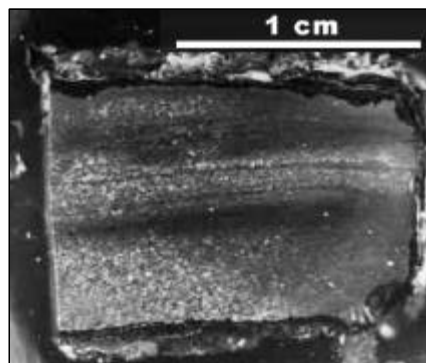


Fig. 233: Sección transversal del objeto en la zona lateral.

Las bandas paralelas poseen microestructuras variadas, disponiéndose tipo sandwich sin organización continuada; unas de bajo contenido en carbono, ferríticas (Fig. 234), otras de contenido en carbono un poco mayor (Fig. 235) con microestructuras ferrítico perlíticas hipoeutectoides (Fig. 236), y por último, otras de contenido en carbono superior (Fig. 237) llegando incluso a ser hipereutectoides (Fig. 238).

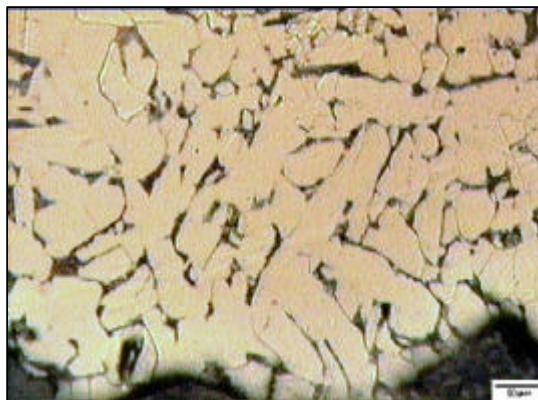


Fig. 234: Microestructura de acero ferrítico, con grano alargado.

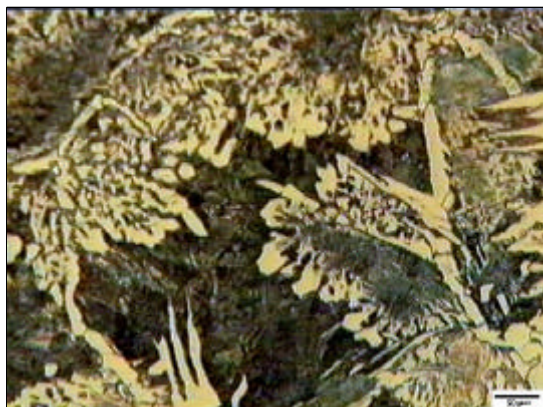


Fig. 235: Microestructura de acero con ferrita Widmanstätten.

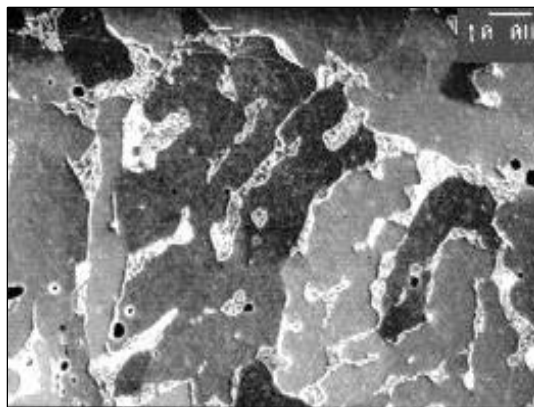


Fig. 236: Detalle de colonias aisladas de perlita en grano ferrítico.

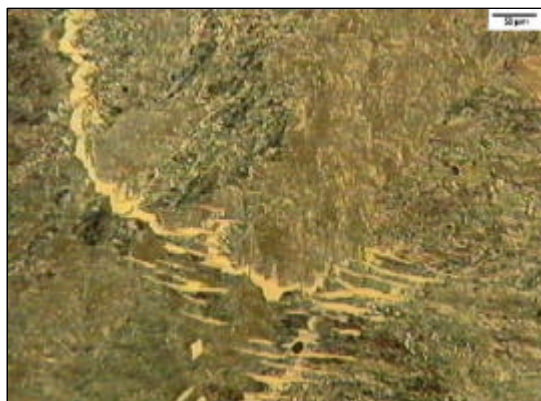


Fig. 237: Microestructura de acero perlítico con ferrita reticular.



Fig. 238: Detalle de microestructura.

Las microestructuras presentes en las bandas, pueden presentar a su vez pequeñas variaciones dentro de la misma. Así se presentan microestructuras donde la cementita aparece parcialmente globulizada (Figs. 239 y 240), mientras que en otras zonas la ferrita se presenta con estructura Widmanstätten sobre la matriz perlítica (Figs. 241 y 242).

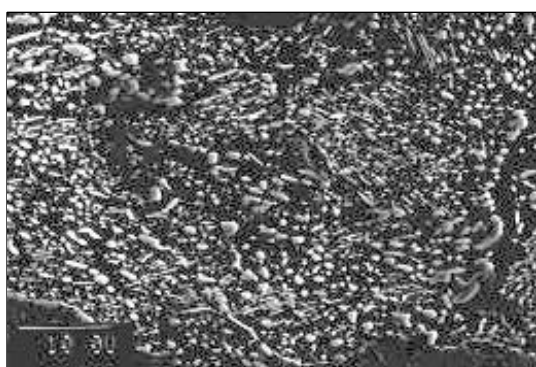


Fig. 239: Zona con microestructura cementítica parcialmente globulizada.

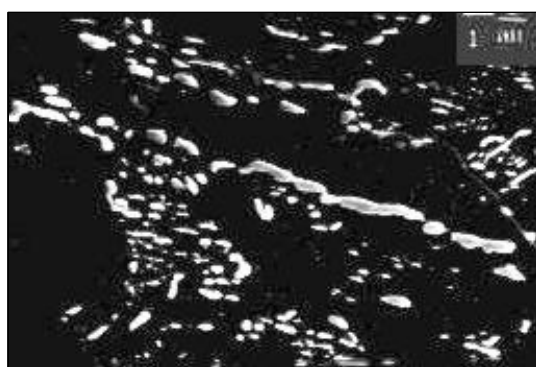


Fig. 240: Detalle de cementita globulizada.

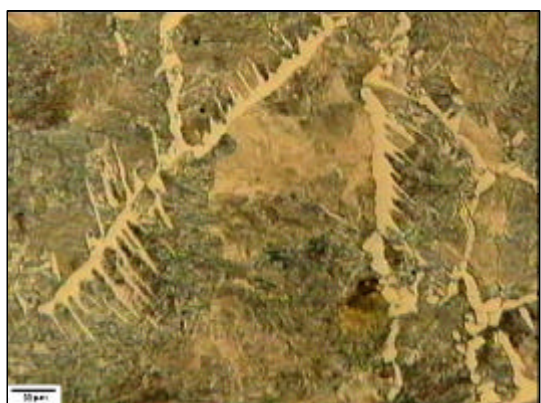


Fig. 241: Microestructura de matriz perlítica con ferrita Widmanstätten.



Fig. 242: Detalle de ferrita Widmanstätten.

También existen zonas con microestructura eutectoide, 0.78–0.8 %C (Fig. 243) con la presencia de cementita reticular, que indica un posible proceso de cementación, apareciendo perlita laminar muy fina (Fig. 244).

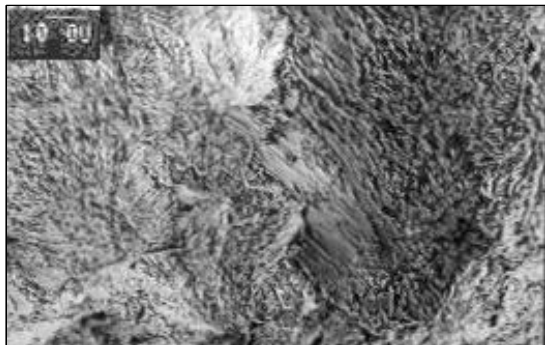


Fig. 243: Microestructura de acero eutectoide.

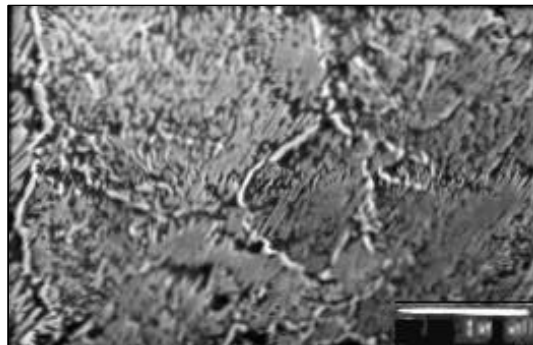


Fig. 244: Microestructura de acero hipereutectoide con cementita en límite de grano.

Las bandas de material que forman las zonas más externas de la pieza muestran microestructuras con grano deformado. Este hecho aparece tanto en las microestructuras ferríticas (Fig. 245), como en las ferrítico perlíticas (Fig. 246). También es posible observar un direccionamiento de las escorias presentes (Fig. 247) y la deformación del grano de ferrita (Fig. 248).

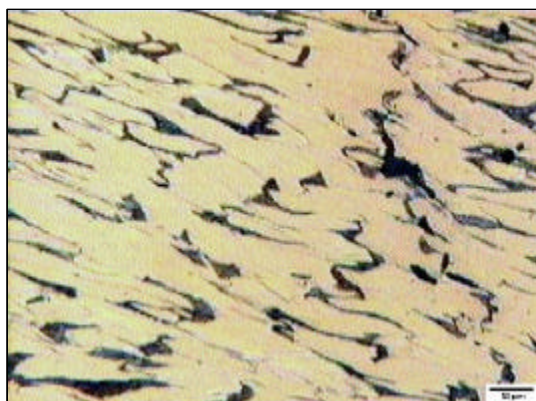


Fig. 245: Microestructura de acero ferrítico con grano deformado.

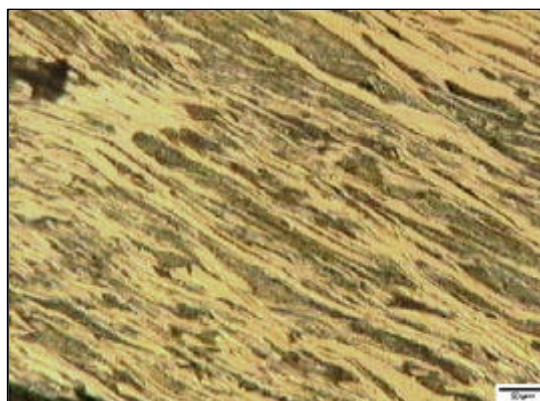


Fig. 246: Microestructura de acero ferrítico perlítico con grano deformado.

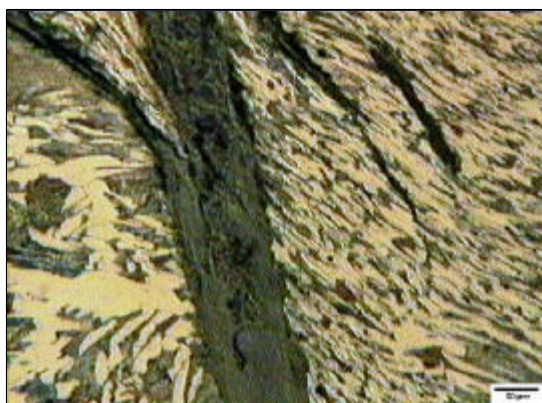


Fig. 247: Escorias direccionadas sobre matriz de distinto contenido en carbono.

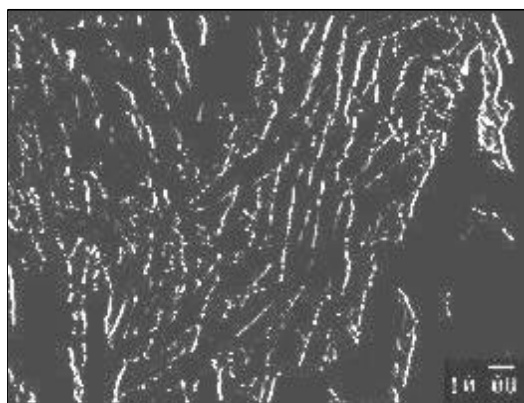


Fig. 248: Deformación del grano ferrítico.

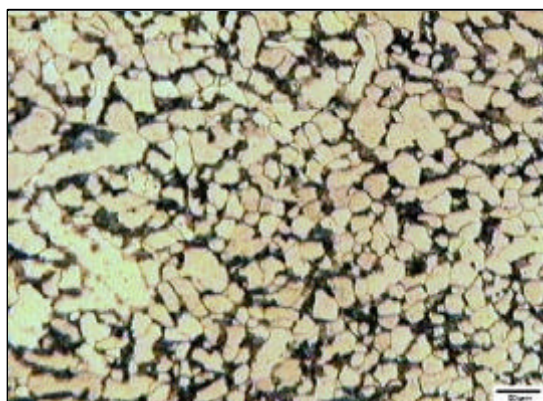


Fig. 249: Microestructura ferrítico perlítica.

Al realizar un estudio microestructural longitudinal, se observa que al aproximarnos a la zona de filo existe un incremento del % de carbono, asociado a microestructuras ferrítico perlíticas (Fig. 249), donde coexiste cementita precipitada en límite de grano con perlita globulizada en el interior del mismo (Fig. 250). Las microestructuras perlíticas (Fig. 251) aparecen en las zonas más internas de la sección de filo.

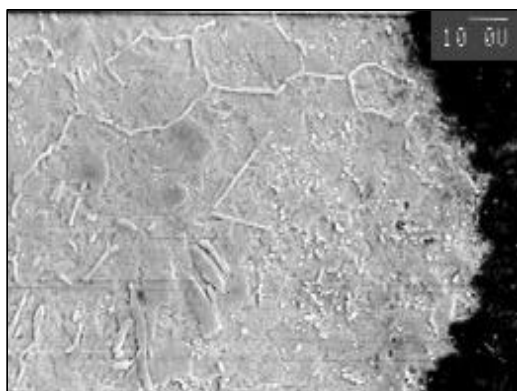


Fig. 250: Cementita reticular y globulizada.

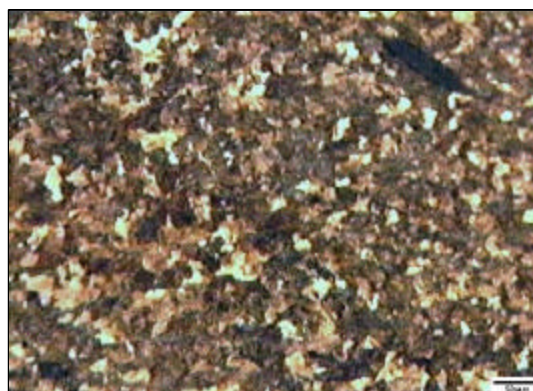


Fig. 251: Microestructura perlítica.

4.1.9.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza Vickers llevados a cabo sobre este objeto (Fig. 252) se muestran, al igual que sus microestructuras, muy dispersos. Así, en la sección transversal (Fig. 253) se muestra un perfil de durezas con continuos máximos y mínimos debidos a la disposición en bandas de sus microestructuras carburadas y decarburadas. Los valores máximos corresponden a las microestructuras más carburadas, mientras que los mínimos se corresponden con estructuras con menor contenido en carbono.

En la sección longitudinal (Fig. 254), y tomando valores medios de las secciones intermedias, se puede percibir un incremento del valor de dureza según nos aproximamos al filo, donde la lámina carburada sobre la que se han realizado las medidas de dureza Vickers presenta un incremento del % en carbono y se muestra deformada mecánicamente.

4.1.9.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

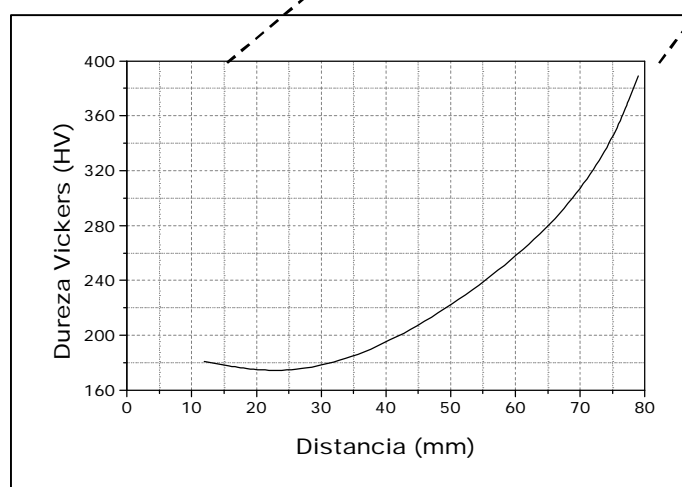
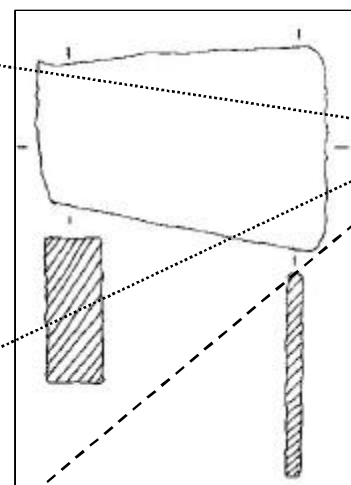
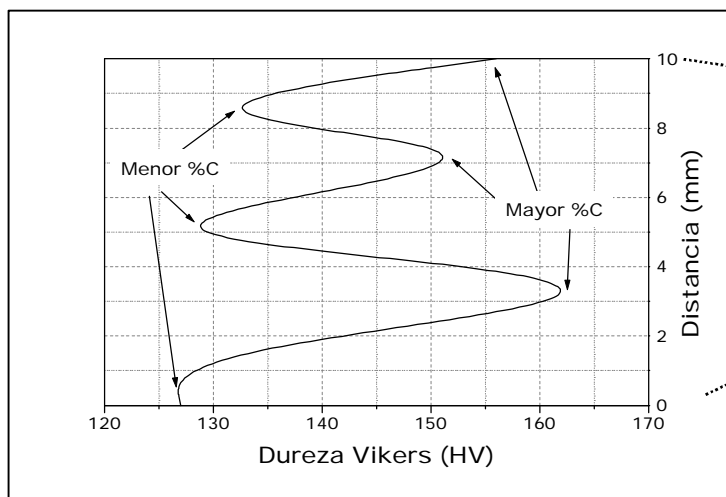
El procedimiento tecnológico utilizado en la fabricación de este hacha, consistiría en:

- ✍ Conformer mediante forja una lámina de hierro en forma de hacha.
- ✍ Añadir y unir mediante forja láminas alternas de diferente contenido en carbono hasta un total de cinco láminas.
- ✍ Conformer y afilar el filo del hacha, con el consiguiente endurecimiento por deformación y enfriamiento rápido de este.

- 231. *Fig. : Objeto catalogado como hacha.*
- 232. *Fig. : Sección transversal del objeto en la zona de talón.*
- 233. *Fig. : Sección transversal del objeto en la zona lateral.*
- 234. *Fig. : Microestructura de acero ferrítico.*
- 235. *Fig. : Microestructura de acero ferrítico perlítico.*
- 236. *Fig. : Detalle de microestructura de acero hipoeutectoide.*
- 237. *Fig. : Microestructura de acero perlítico.*
- 238. *Fig. : Detalle de microestructura de acero ligeramente hipereutectoide.*
- 239. *Fig. : Zona con microestructura cementítica parcialmente globulizada.*
- 240. *Fig. : Detalle de cementita globulizada.*
- 241. *Fig. : Microestructura de matriz perlítica con cementita Widmanstätten.*
- 242. *Fig. : Detalle de cementita Widmanstätten.*
- 243. *Fig. : Microestructura de acero eutectoide.*
- 244. *Fig. : Microestructura de acero eutectoide con cementita en límite de grano.*
- 245. *Fig. : Microestructura de acero ferrítico con grano deformado.*
- 246. *Fig. : Microestructura de acero ferrítico perlítico con grano deformado.*
- 247. *Fig. : Escorias direccionadas sobre matriz de distinto contenido en carbono.*
- 248. *Fig. : Deformación del grano austenítico.*
- 249. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 250. *Fig. : Cementita reticular y globulizada.*
- 251. *Fig. : Microestructura perlítica.*
- 252. *Fig. : Esquema del Hacha.*
- 253. *Fig. : Perfil de durezas en la sección transversal AB de la figura .*
- 254. *Fig. : Perfil de durezas en la sección longitudinal.*

XXXI. *Tabla : Dimensiones del Hacha.*

7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).



4.1.10 Escarpelo

4.1.10.1. CATALOGACIÓN

El escarpelo fue encontrado en el ala norte de la villa, habitación 14-3.

Este objeto se reconoció dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o herramientas de oficios, ya que se supone que tiene la utilidad de un bisturí.

Se trata de una pieza (Fig. 255) alargada y fina, con dos extremos muy diferenciados; uno con morfología de pirámide tetragonal, que correspondería a la zona de enmangue de la pieza, y el otro extremo es plano y con forma de lágrima. El cuerpo de la pieza tiene sección cuadrada y sus dimensiones aparecen recogidas en la tabla XXXII



Fig. 255: Objeto denominado Escarpelo.

Tabla XXXII: Dimensiones del Escarpelo.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)		
	Pieza	Enmangue	Filo
Longitud	152	58	12
Anchura	5.95	4.8 – 10.4	8.05
Grosor	6.30	7.21 – 10.4	1.96

4.1.10.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se realizó una difracción de rayos X de las tierras que quedaron adheridas a la pieza después de la etapa de consolidación (Fig. 256).

En el difractograma obtenido quedan identificados los picos de intensidad (Tabla XXXIII), como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34-1266), magnetita Fe_3O_4 (74-0748) y hierro (06-0696).

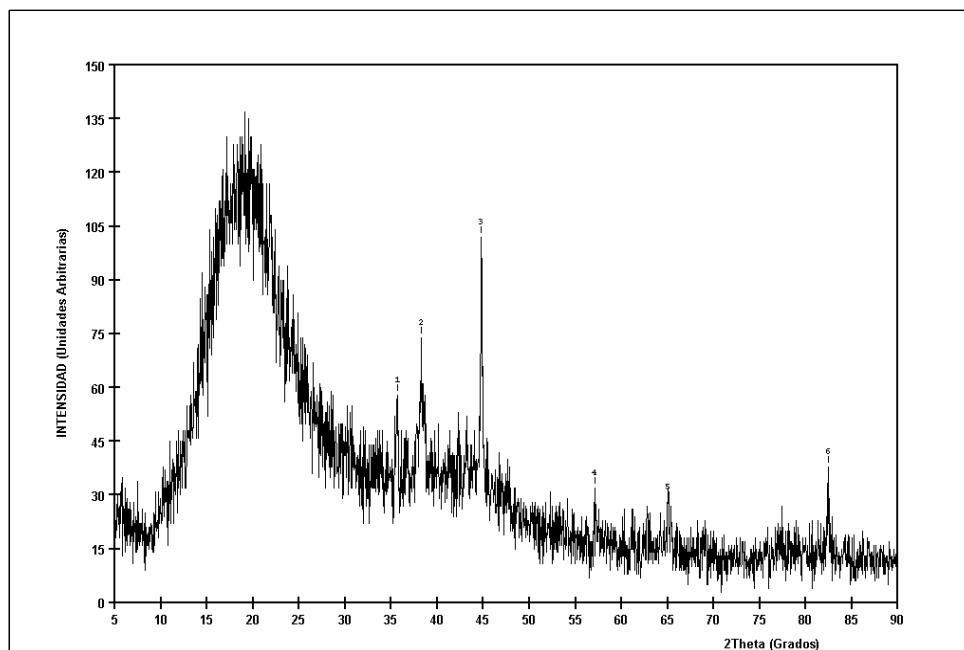


Fig. 256: Diffractograma de la sección transversal del objeto.

Tabla XXXIII: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al esarpelo.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2°)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	35.66	2.518	46.3	Fe ₃ O ₄	74-0798	3	1	1
2	38.26	2.353	65.8	FeOOH	34-1266	4	2	0
3	44.74	2.026	100	Fe	06-0696	1	1	0
4	57.14	1.612	20.7	Fe ₃ O ₄	74-0798	3	3	3
5	65.02	1.434	15.9	Fe	06-0696	2	0	0
6	82.42	1.170	28.0	Fe	06-0696	2	1	1

Las fases minerales caracterizadas pertenecen a los productos o pátinas de corrosión.

4.1.10.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

En la radiografía obtenida (Fig. 257), no se aprecia ningún signo, ni defecto de soldadura, u otra morfología típica asociada a un proceso de fabricación. Sólo en la zona de corte se aprecian manchas de distinta tonalidad, asociadas a los diferentes grados de corrosión del esarpelo. La zona de enmangue presenta un óptimo estado de conservación.

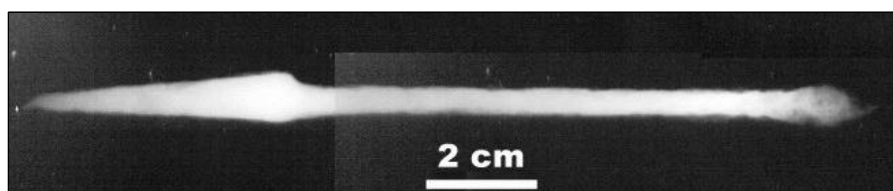


Fig. 257: Radiografía longitudinal del objeto.

Este objeto ha sido caracterizado longitudinalmente, tanto en la zona de punta, o zona que serviría para sajar, como en la zona de ensanchamiento del empuñadura (Fig. 258).

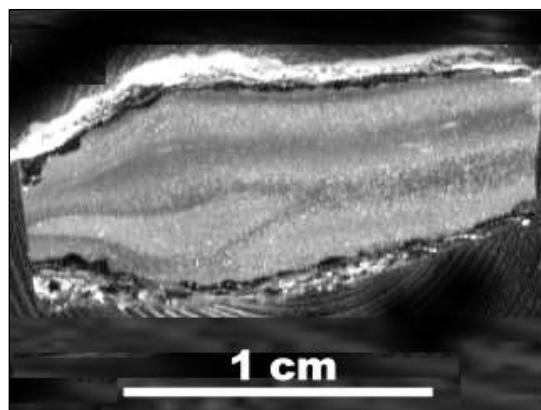


Fig. 258: Macrografía de la sección transversal en zona de empuñadura.

La zona de empuñadura es una zona de ensanchamiento, no soldada, que está formada por microestructuras dispuestas en bandas o capas con distinto contenido en carbono alternas (Fig. 259) y, que en ocasiones, se ven separadas por escorias (Fig. 260).

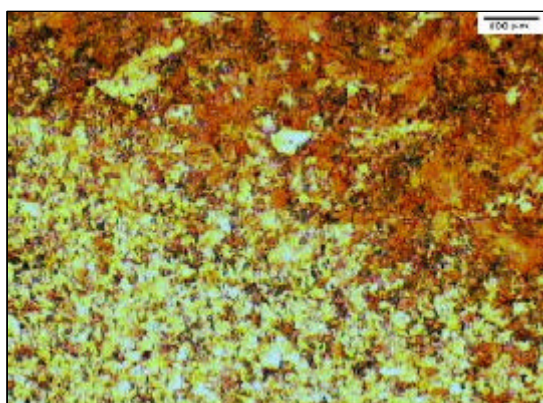


Fig. 259: Bandas microestructurales de distinto contenido en carbono.

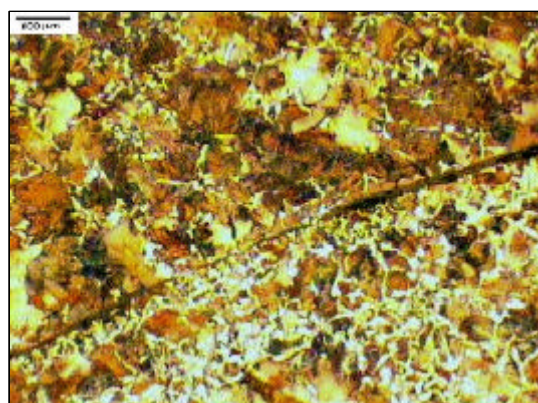


Fig. 260: Escoria separando bandas microestructurales.

Las capas con menor contenido en carbono presentan una microestructura ferrítica con pequeñas cantidades de perlita precipitada en límite de grano (Fig. 261).

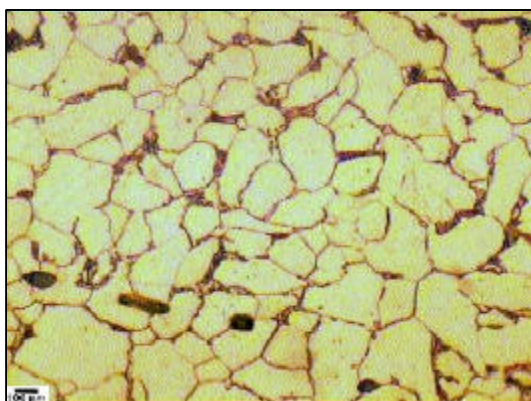


Fig. 261: Microestructura de matriz ferrítica con cementita en límite de grano.

Al incrementarse el contenido en carbono, se incrementa el volumen de colonias perlíticas en las microestructuras (Figs. 262 y 263), para llegar incluso a mostrarse colonias perlíticas con pequeña cantidad de ferrita (Figs 264 y 265) siendo prácticamente eutectoide.

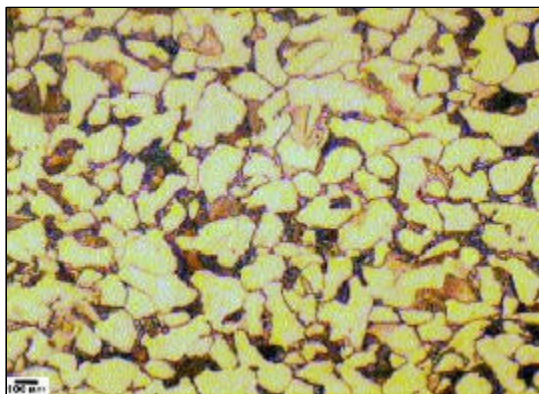


Fig. 262: Matriz ferrítica con colonias perlítica en límite de grano.

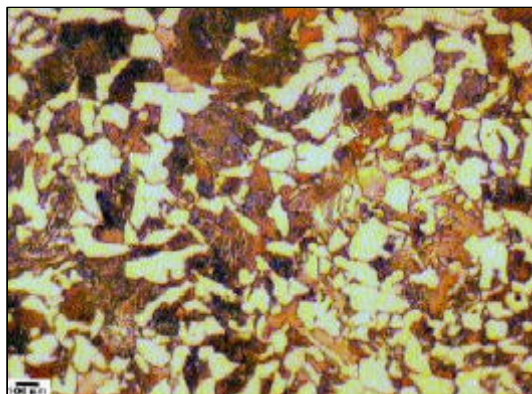


Fig. 263: Matriz ferrítico perlítica.

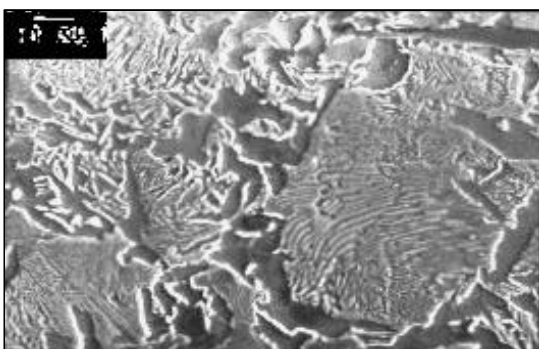


Fig. 264: Matriz de acero hipoeutectoide de alto contenido en carbono.

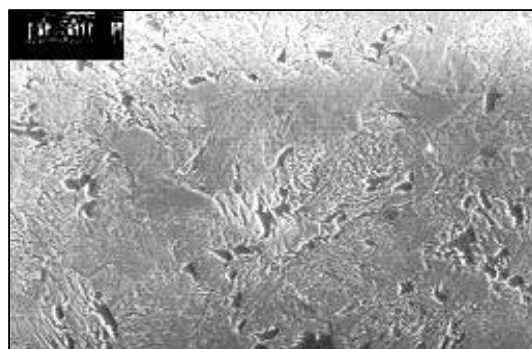


Fig. 265: Microestructura de alto contenido en carbono.

La otra sección del escarpelo que ha sido estudiada, es la zona de punta, donde las microestructuras poseen menor contenido en carbono (Fig. 266). Se trata de una microestructura ferrítico perlítica (Fig. 267), y de forma aislada aparecen microestructuras típicas de aceros con mayores contenidos en carbono (Fig. 268), se trata de zonas donde la cementita se presenta tanto en forma laminar como globulizada (Fig. 269).

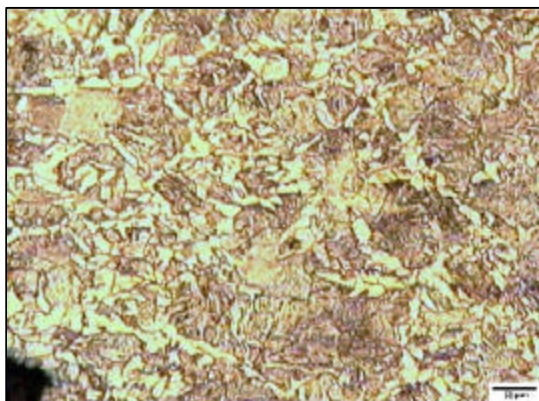


Fig. 266: Matriz ferrítico perlítica con ferrita acicular.

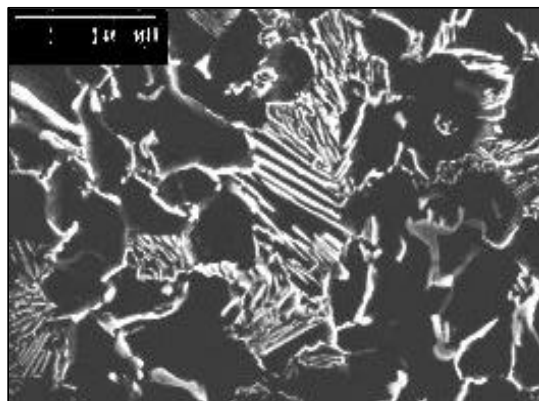


Fig. 267: Detalle de la microestructura ferrítico perlítica.

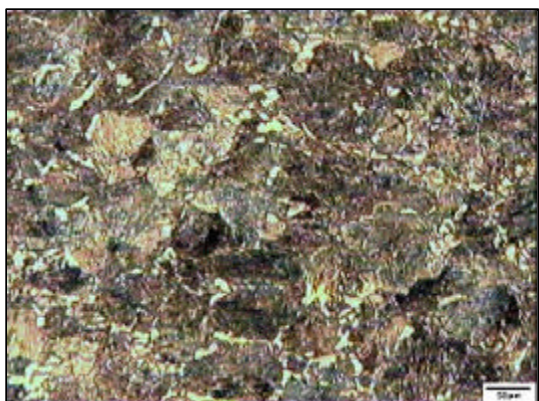


Fig. 268: Matriz perlítica con pequeñas colonias cementíticas.

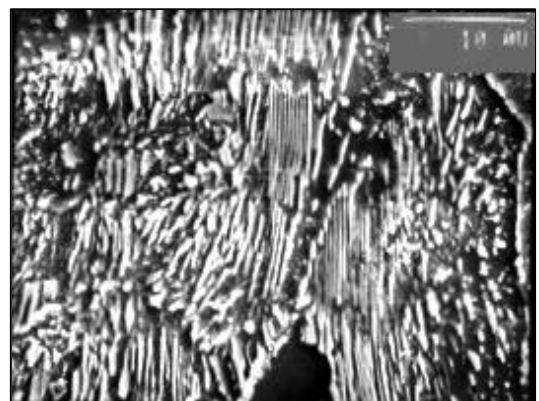


Fig. 269: Cementita laminar y parcialmente globulizada.

Finalmente, en la zona de punta se observan microestructuras de acero hipereutectoide (Fig. 270) con cementita precipitada en límite de grano (Fig. 271).

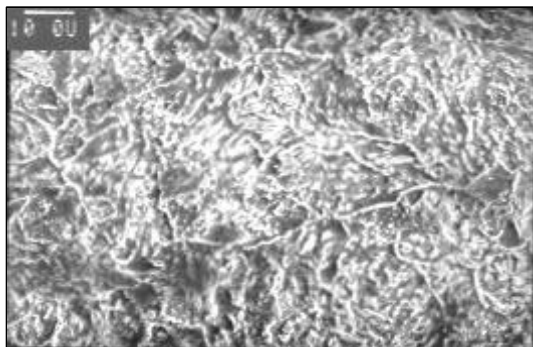


Fig. 270: Matriz de acero hipereutectoide.

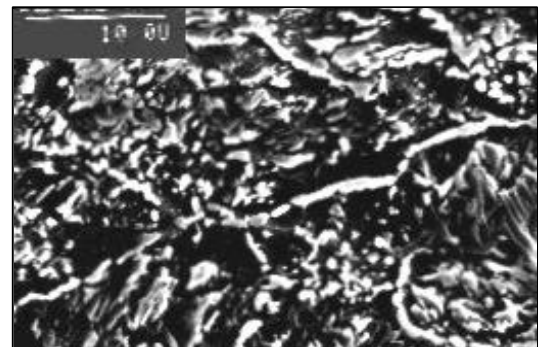


Fig. 271: Detalle de matriz hipereutectoide.

4.1.10.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers tomados en esta pieza indican medidas muy heterogéneas, al igual que sus microestructuras dispuesta en bandas, como ya se ha visto anteriormente. Se realizaron medidas en las secciones transversales denominadas AB, de la zona de empuñadura, y CD de la zona de punta o zona destinada a sajar (Fig. 272).

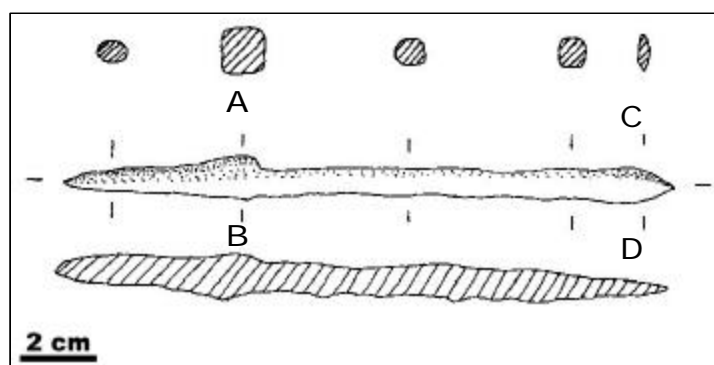


Fig. 272: Esquema del objeto.

Los perfiles de dureza de ambas secciones (Fig. 273) presentan máximos y mínimos, que corresponden a las bandas microestructurales más o menos carburadas respectivamente. Sin embargo se observa que para mismas microestructuras, dependiendo de la sección medida se presentan valores distintos de dureza. Se aprecian valores ligeramente superiores (± 50 HV) en la zona de punta que en la zona de empuñadura, para la misma banda microestructural, debido al endurecimiento generado por la mecanización que ha tenido lugar en el filo de la pieza.

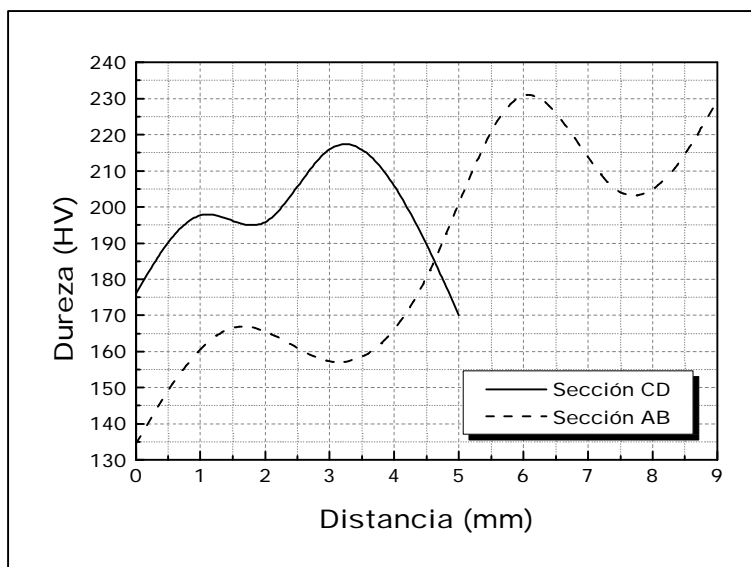


Fig. 273: Perfiles de dureza Vickers de las secciones señaladas en la figura 272.

4.1.10.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico que se utilizó en la fabricación del esarpelo consistiría en:

- ✍ Conformer a partir del tocho finas barritas de acero.
- ✍ Unir mediante forja las barritas de diferente contenido en carbono dando forma a la pieza.
- ✍ Afilar la punta de la pieza.

La cementita globular indica que la pieza en algún momento del proceso de fabricación ha sufrido un tratamiento térmico de recocido de globulización, con el fin de dar tenacidad a la pieza restando fragilidad, provocando un aumento de la vida útil de la misma.

4.1.11 Cíncel

4.1.11.1. CATALOGACIÓN

El cíncel (Fig. 274), fue encontrado en la habitación 12-3, ala oeste, de la villa romana de "La Olmeda".

Debido a la posible utilidad que le darían a esta pieza las personas que habitaron la villa romana de La Olmeda, se reconoció dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas de oficios.



Fig. 274: Objeto denominado Cíncel.

Es una pieza alargada, de sección rectangular que va en disminución a medida que avanzamos en longitud, presentando uno de sus extremos biselados y cuyas dimensiones son presentadas en la tabla XXXIV:

- 255. *Fig.: Objeto denominado Escarpelo.*
- 256. *Fig. : Difractograma de la sección transversal del objeto.*
- 257. *Fig. : Radiografía longitudinal del objeto.*
- 258. *Fig. : Macrografía de la sección transversal en zona de empaque.*
- 259. *Fig. : Bandas microestructurales de distinto contenido en carbono.*
- 260. *Fig. : Escoria separando bandas microestructurales.*
- 261. *Fig. : Microestructura de matriz ferrítica con cementita en límite de grano.*
- 262. *Fig. : Matriz ferrítica con colonias perlítica en límite de grano.*
- 263. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 264. *Fig. : Matriz de acero hipoeutectoide de alto contenido en carbono.*
- 265. *Fig. : Microestructura de alto contenido en carbono.*
- 266. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica con ferrita acicular.*
- 267. *Fig. : Detalle de cementita terciaria precipitada en límite de grano.*
- 268. *Fig. : Matriz perlítica con pequeñas colonias cementíticas.*
- 269. *Fig. : Cementita laminar y parcialmente globulizada.*
- 270. *Fig. : Matriz de acero ligeramente hipereutectoide.*
- 271. *Fig. : Detalle de matriz hipereutectoide.*
- 272. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 273. *Fig. : Perfiles de dureza Vickers de las secciones señaladas en la figura .*
- 274. *Fig. : Objeto denominado Cíncel.*

XXXII. *Tabla : Dimensiones del Escarpelo.*

XXXIII. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las patinas adheridas al escarpelo.*

XXXIV. *Tabla : Dimensiones del cíncel.*

Tabla XXXIV: Dimensiones del cincel.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	245.8
Anchura	11.74- 16.64
Grosor	12.64- 22.32

Este tipo de piezas son habituales en los yacimientos de la Península Ibérica [32], asignándoles la utilidad de herramientas de oficios [11]. También se han encontrado en estos yacimientos barritas fabricadas en materiales diferentes al hierro [1], y de dimensiones similares [7].

4.1.11.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se realizó una caracterización química, mediante difracción de rayos X, a las tierras que acompañan al cincel. Además, también fueron caracterizadas las pátinas, óxidos y tierras que quedaron adheridos a la pieza después de la etapa de consolidación. Las tierras presentaron un difractograma (Fig. 275), donde se muestran picos de intensidad, que quedan identificados (Tabla XXXV) como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34-1266), magnetita Fe_3O_4 (74-0748) y óxido de hierro FeO (06-0711).

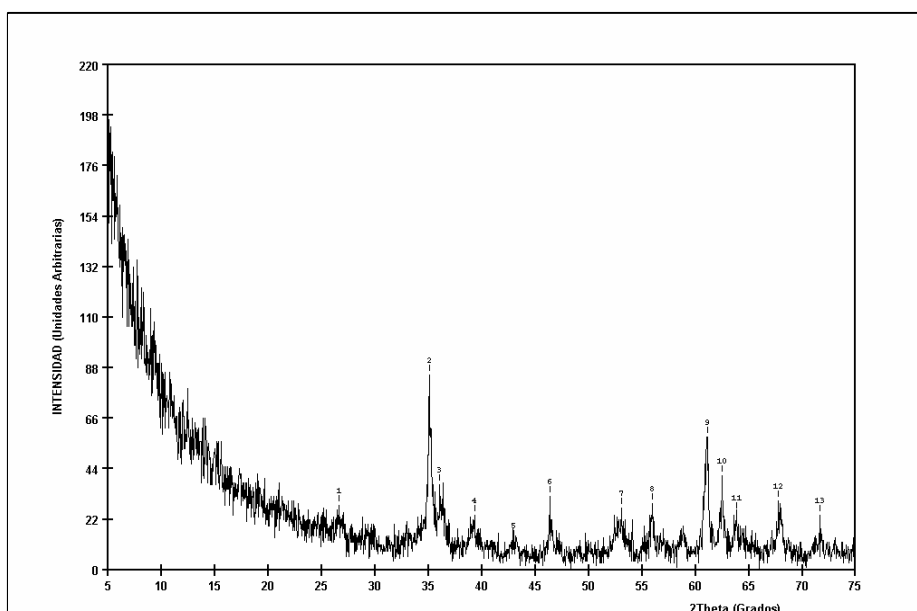


Fig. 275: Difractograma de las tierras recogidas junto al cincel.

Tabla XXXV: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cincel.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.66	3.344	32.9	FeOOH	34-1266	3	1	0
2	35.06	2.559	100	Fe ₃ O ₄	74-0748	3	1	1
3	36.06	2.491	43.5	FeOOH	34-1266	3	3	0
4	39.34	2.290	28.2	FeOOH	34-1266	3	0	1
5	42.98	2.104	15.3	Fe ₃ O ₄	74-0748	4	0	0
6	46.30	1.961	28.2	FeOOH	34-1266	4	1	1
7	53.06	1.726	31.8	FeOOH	34-1266	4	3	1
8	55.98	1.643	34.1	FeOOH	34-1266	5	2	1
9	61.10	1.517	68.2	FeO	06-0711	1	1	0
10	62.46	1.487	48.2	Fe ₃ O ₄	74-0748	4	4	0
11	63.86	1.458	29.4	Fe ₃ O ₄	74-0748	4	4	2
12	67.78	1.383	35.3	FeOOH	34-1266	2	0	2
13	71.66	1.317	28.2	FeO	06-0711	0	1	5

Las fases minerales caracterizadas pertenecen a las pátinas desprendidas de la pieza antes de la etapa de consolidación.

El difractograma que presentaron las pátinas adheridas a la pieza (Fig. 276), muestran picos de intensidad que quedan identificados (Tabla XXXVI) como cuarzo SiO₂ (33-1161). Esta fase es el componente mayoritario de las arenas que constituyen el yacimiento.

Tabla XXXVI: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al cincel.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.94	4.243	65.5	SiO ₂	33-1161	1	0	0
2	26.70	3.339	100	SiO ₂	33-1161	1	0	1
3	36.66	2.451	25	SiO ₂	33-1161	1	1	0
4	42.50	2.127	22.4	SiO ₂	33-1161	2	0	0
5	50.22	1.817	22.4	SiO ₂	33-1161	1	1	2
6	60.14	1.539	10.3	SiO ₂	33-1161	2	1	1
7	68.34	1.373	12.1	SiO ₂	33-1161	3	0	1
8	79.98	1.200	13.8	SiO ₂	33-1161	2	1	3
9	81.58	1.180	12.9	SiO ₂	33-1161	1	1	4

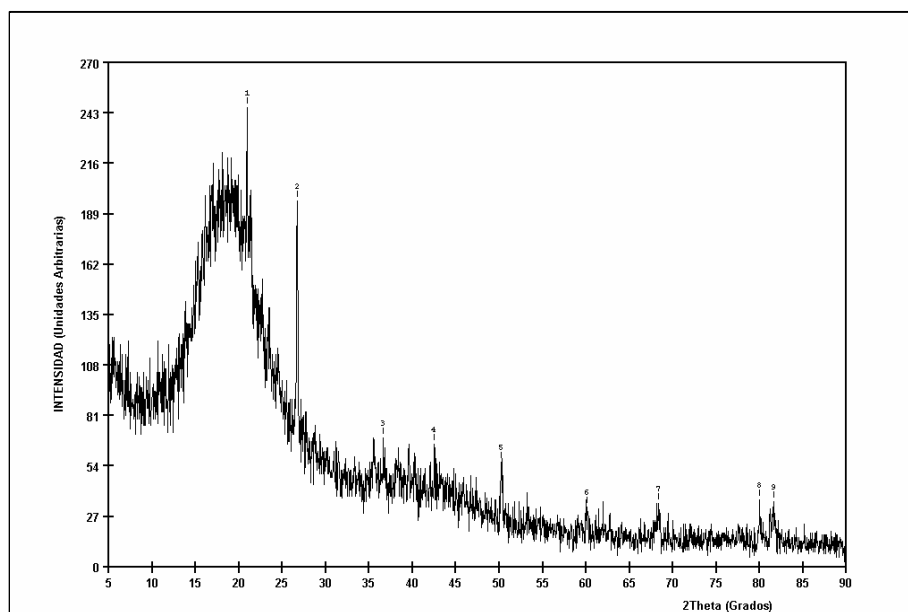


Fig. 276: Difractograma de las pátinas adheridas al cincel.

4.1.11.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

El cincel presenta una sección transversal cuadrada no biselada donde se muestra

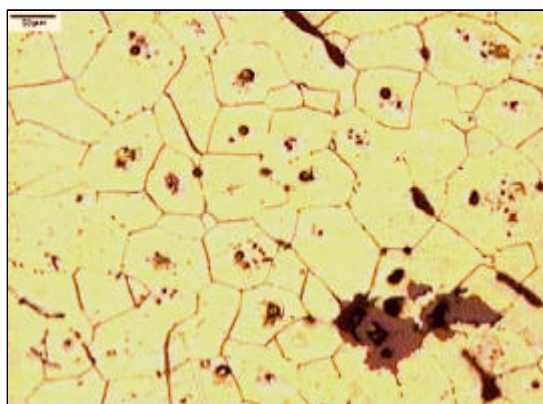


Fig. 277: Matriz ferrítica de grano equiaxial.

una microestructura de matriz ferrítica y cementita terciaria precipitada en su límite de grano. El grano ferrítico toma tanto forma equiaxial (Fig. 277), como nodular (Fig. 278). En esta sección se observó la presencia de numerosas escorias que contienen en su interior óxido de hierro en forma de wustita, que adopta forma nodular (Fig. 279).

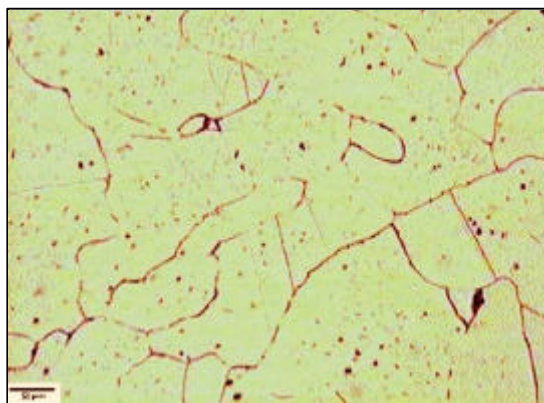


Fig. 278: Matriz ferrítica con morfología granular en nódulo.

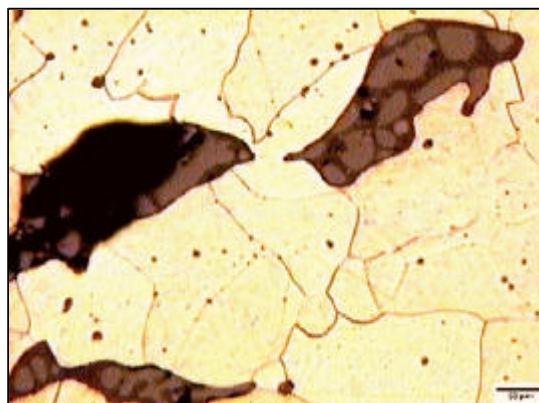


Fig. 279: Wustita nodular caracterizada morfológicamente.

Además de las variaciones en la morfología de la ferrita, se dan variaciones en el tamaño del grano, siendo menor en los bordes (Fig. 280) que en el núcleo de la pieza, donde se presenta el mayor tamaño ferrítico (Fig. 281).

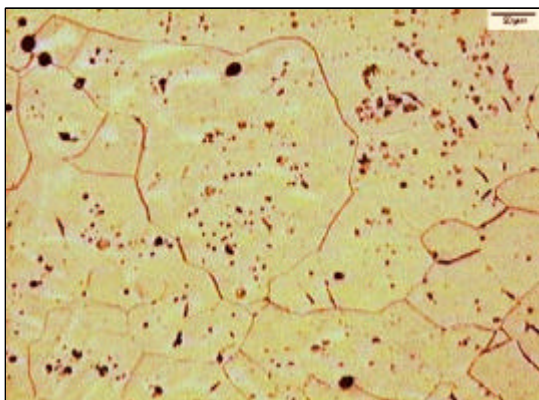


Fig. 280: Matriz ferrítica en el borde externo de la pieza.

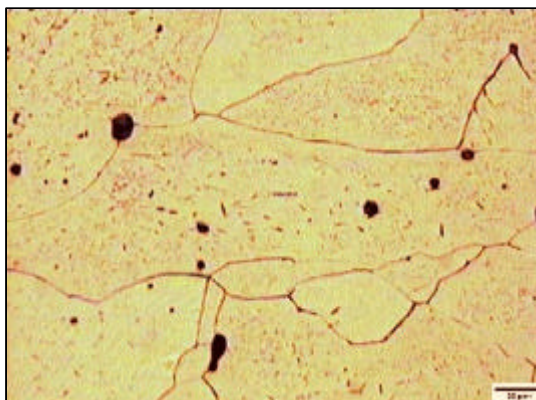


Fig. 281: Matriz ferrítica en el interior de la pieza.

Aisladamente, se aprecian pequeñas colonias perlíticas en el límite de grano ferrítico (Fig. 282).

Otra de las secciones estudiadas es el extremo biselado del cincel, donde se muestran las microestructuras anteriormente descritas, con pequeñas variaciones. Estas variaciones radican fundamentalmente en un mayor grado de deformación en el grano ferrítico (Fig. 283), así como de una disminución del tamaño de grano de forma gradual al aproximarnos al filo de la pieza (Fig. 284).

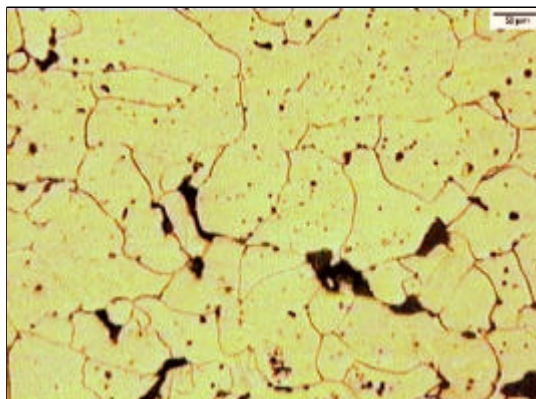


Fig. 282: Colonias perlíticas precipitadas en límite de grano ferrítico.



Fig. 283: Matriz de grano deformado.

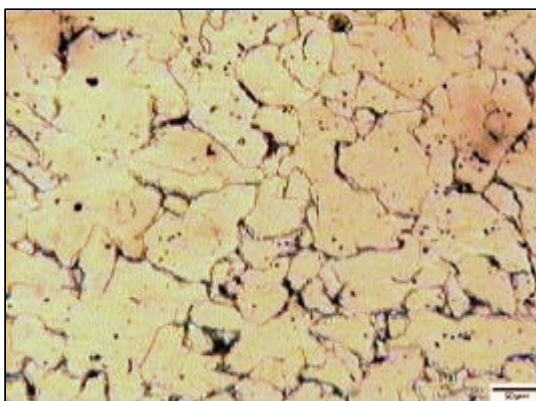


Fig. 284: Matriz de pequeño tamaño de grano debido al alto grado de deformación.

Respecto a las escorias que se observan (Fig. 285), estas se disponen longitudinalmente a la pieza (están direccionadas) y los óxidos que contienen adoptan estructura dendrítica, desapareciendo la forma nodular (Fig. 286). El análisis de estas escorias indica que están formadas por fayalita, junto con otros óxidos (Fig. 287).

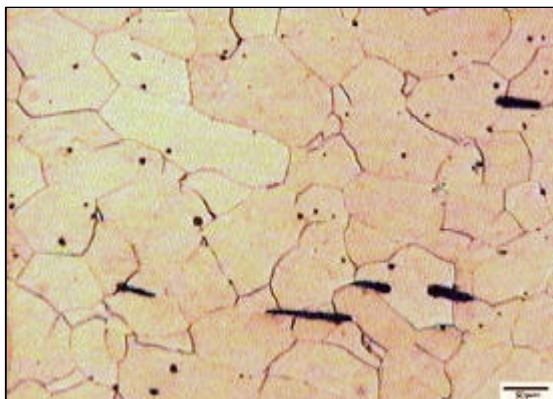


Fig. 285: Escorias dispuestas longitudinalmente.

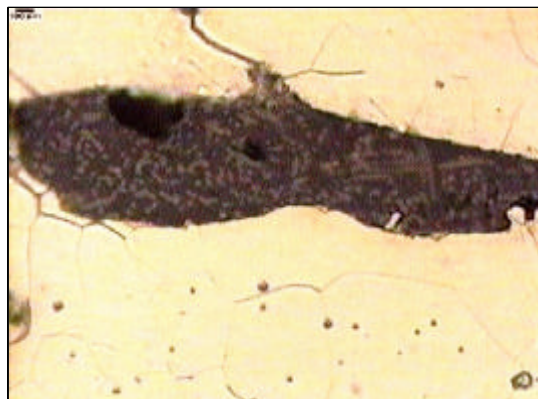


Fig. 286: Wustita dendrítica.

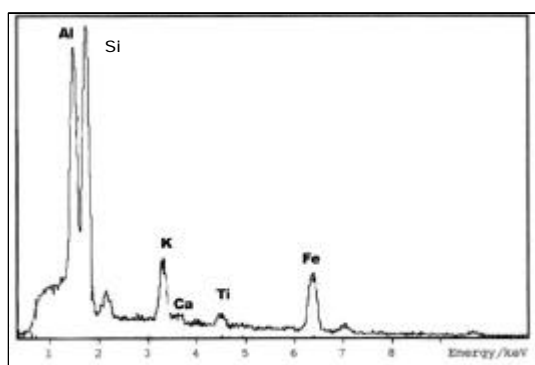


Fig. 287: Identificación de los componentes de la escoria presente en la figura 286.

El contenido medio en carbono de esta pieza se encuentra entre el 0.07 – 0.10 % (Fig. 288), dada la microestructuras que presenta, constituida prácticamente en su totalidad por una matriz ferrítica con pequeñas cantidades de perlita y cementita en límite de grano.

Puede ser observado un fenómeno de recristalización parcial y poligonización completo en el seno del grano ferrítico (Fig. 289). Además se advirtió que las pequeñas colonias de perlita que presentaba esta microestructura eran muy finas (Fig. 290).

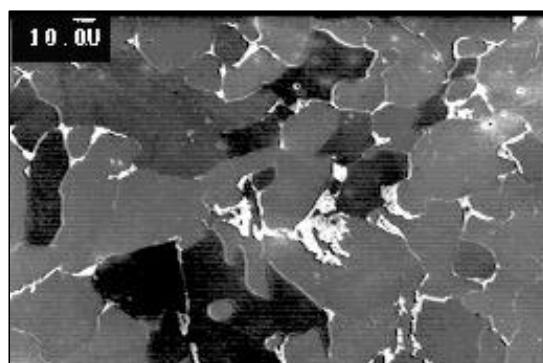


Fig. 288: Matriz ferrítica con cementita y perlita en límite de grano.

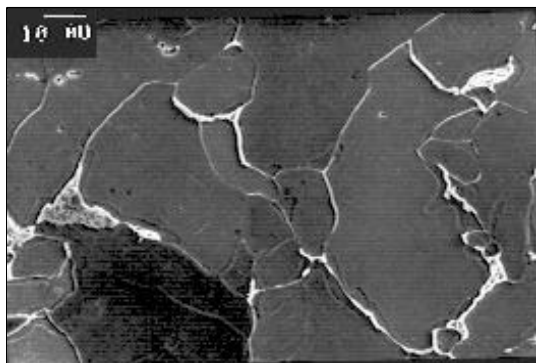


Fig. 289: Recristalización y poligonización intragranular.

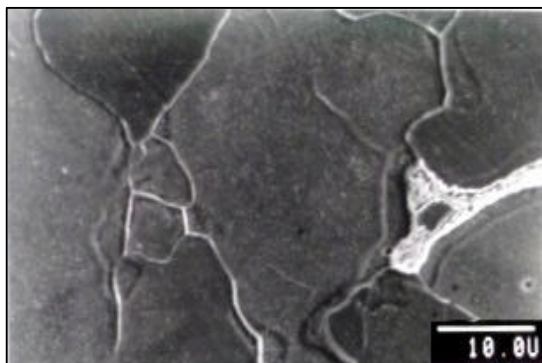


Fig. 290: Detalle del fenómeno de poligonización.

El frente de corrosión se presenta plano (Fig. 291) de forma general, aunque en algunas zonas aparece corrosión intergranular (Fig. 292).



Fig. 291: Pátina de corrosión generalizada.

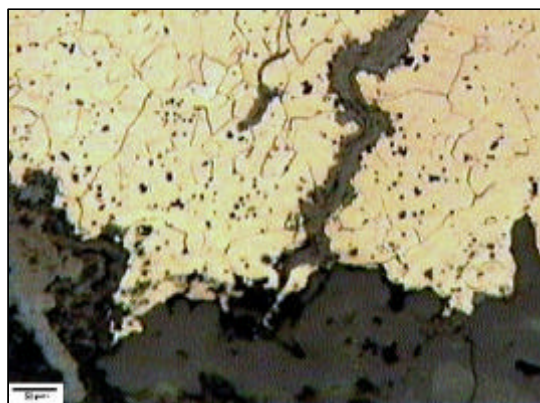


Fig. 292: Fenómeno de corrosión a través de límite de grano.

4.1.11.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica mediante medidas de dureza Vickers, ha sido realizada en el cincel tanto en la sección transversal, como longitudinal (Fig. 293). En su sección transversal se observan valores de dureza homogéneos y aproximados de 125 ± 25 HV (Fig. 294).

Sin embargo, en la sección longitudinal, se observa un drástico aumento del valor de dureza hasta 135 HV, al aproximarnos a la punta de la pieza (Fig. 295).

4.1.11.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El método de fabricación del cincel consistiría en:

- ✍ Conformer una barra, de hierro de bajo contenido en carbono, mediante calor y martillado.
- ✍ Conformer el extremo biselado de la barra, que debió hacerse por deformación en frío, dado el alto grado de recristalización mostrado en la pieza.

- 275. Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto al cincel.
- 276. Fig. : Difractograma de las pátinas adheridas al cincel.
- 277. Fig. : Matriz ferrítica de grano equiaxial.
- 278. Fig. : Matriz ferrítica con morfología granular en nódulo.
- 279. Fig. : Wustita nodular caracterizada morfológicamente.
- 280. Fig.: Matriz ferrítica en el borde externo de la pieza.
- 281. Fig. : Matriz ferrítica en el interior de la pieza.
- 282. Fig.: Colonias perlíticas precipitadas en límite de grano ferrítico.
- 283. Fig.: Matriz de grano deformado.
- 284. Fig. : Matriz de pequeño tamaño de grano debido al alto grado de deformación.
- 285. Fig. : Escorias longitudinalmente dispuestas.
- 286. Fig.: Wustita dendrítica caracterizada morfológicamente.
- 287. Fig. : Identificación de los componentes de la escoria presente en la figura .
- 288. Fig. : Matriz ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.
- 289. Fig. : Recristalización y poligonización intragranular.
- 290. Fig. : Detalle del fenómeno de poligonización.
- 291. Fig. : Pátina de corrosión generalizada.
- 292. Fig. : Fenómeno de corrosión a través de límite de grano.
- 293. Fig. : Esquema del Cincel.
- 294. Fig. : Perfil de dureza en la sección transversal de la pieza.
- 295. Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.

XXXIV. Tabla : Dimensiones del cincel.

XXXV. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan al cincel.

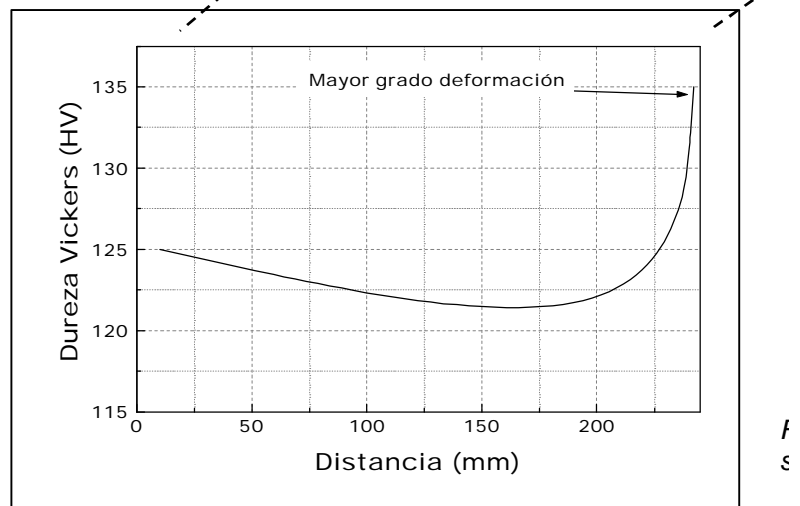
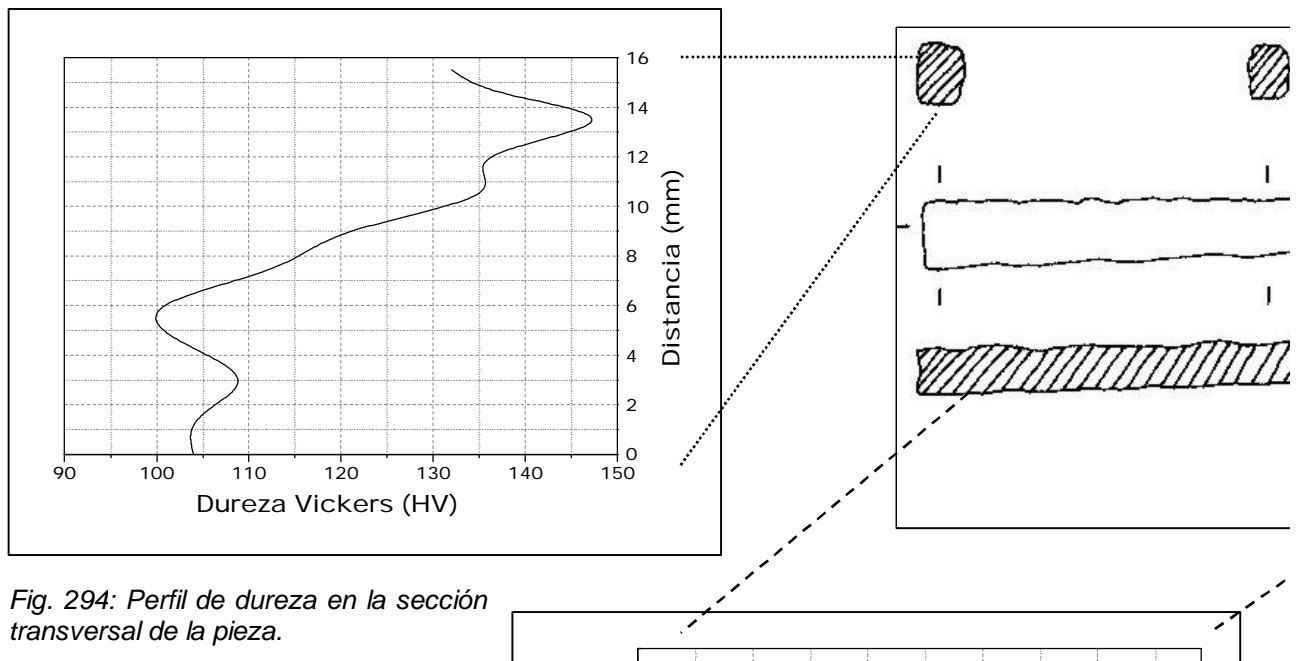
XXXVI. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al cincel.

7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).

11. M. GIL- MASCARELL, M. E. TEJEDO, "La metalurgia del bronce final- hierro antiguo del yacimiento de la Mola d'Agres (Agres, Alicante)", Estudios de Arqueología Ibérica y romana, Homenaje a Enrique Plá Ballester, Servicio de investigación prehistórica de Valencia, Series de trabajos varios , Número 89, (1992), pp: 39 - 49.

32. FERNÁNDEZ GÓMEZ, F.: " El ajuar de la tumba de un lañador romano en el museo arqueológico de Sevilla". Museum. Junio 1982. París. (1982). pp: 71-73.

111. ROVIRA, S. y GOMEZ, P.: "Punzones y varillas metálicas en la Prehistoria reciente española: un estudio tecnológico". Espacio, tiempo y forma. Revista de la facultad de geografía e historia. Serie I/7. Prehistoria y arqueología. Madrid. (1994).



4.1.12 Aro

4.1.12.1. CATALOGACIÓN

El aro o arandela (Fig. 296), fue encontrado en la necrópolis de la villa.



Fig. 296: Objeto denominado Aro.

Pudo tener varios usos posibles, bien como asa de un mueble, o bien como accesorio de herramientas de labranza o ganadería, por este motivo es difícil de reconocer en un único grupo del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, y se clasificó en el grupo número 2, o grupo de utillaje doméstico, y también en el número 5, o grupo de herramientas.

La morfología de este objeto se caracteriza por tratarse de una pieza pequeña y de sección circular, cuyas dimensiones se resumen en la tabla XXXVII:

Tabla XXXVII: Dimensiones del Aro.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Diámetro	44.73
Grosor	5.03 – 7.16

Anillas de diversos materiales son objetos fácilmente recuperables de todo tipo de yacimientos [17,105] habiendo sido aplicadas en diversas utilidades [13].

4.1.12.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Las tierras que acompañaban a la pieza, y que se recogieron antes de la etapa de consolidación, fueron analizadas mediante difracción de rayos X.

El difractograma de estas tierras (Fig. 297) muestra picos de intensidad, que quedan identificados (Tabla XXXVIII) como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34.1266) y cuarzo SiO_2 (33-1161).

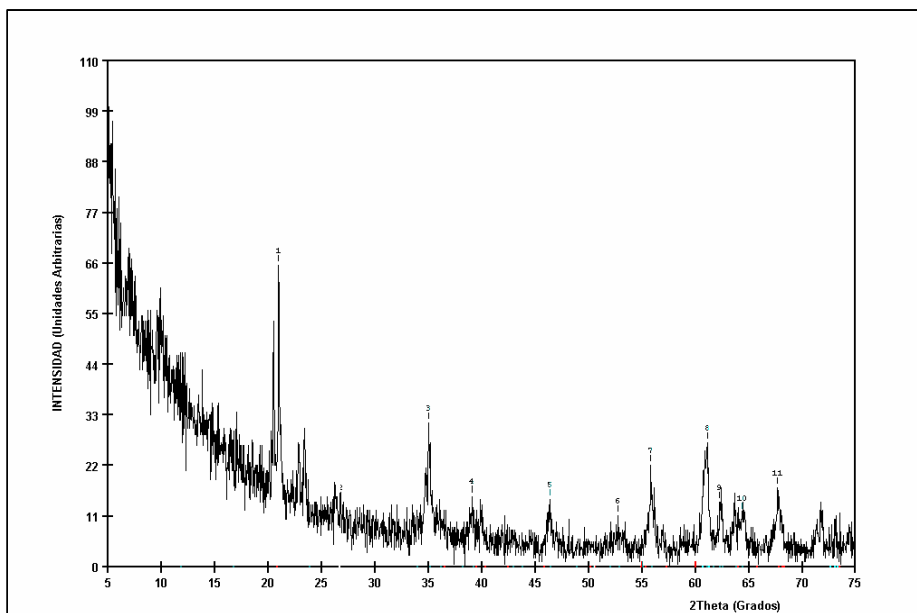


Fig. 297: Difractograma de las tierras recogidas junto al aro.

Las distintas fases minerales que presentaba esta pieza, no pudieron ser identificadas en su totalidad, y no eran representativas del conjunto de piezas halladas.

Tabla XXXVIII: Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al aro.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.98	4.234	100	SiO_2	33-1161	1	0	0
2	26.78	3.389	27.8	SiO_2	33-1161	1	1	1
3	34.98	2.565	31.5	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	2	1	1
4	39.10	2.304	24.1	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	3	0	1
5	46.38	1.958	23.1	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	4	1	1
6	52.78	1.734	17.6	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	4	3	1
7	55.82	1.647	34.3	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	5	2	1
8	61.10	1.517	41.7	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	0	0	2
9	62.26	1.491	22.2	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	7	1	0
10	64.34	1.448	18.5	$\text{FeO}(\text{OH})$	34-1266	5	4	1
11	67.70	1.384	26.8	SiO_2	33-1161	2	1	2

4.1.12.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La radiografía realizada en este objeto (Fig. 298) muestra zonas con distinta tonalidad de grises, que se corresponden con fases minerales.

No se apreció la zona de unión o solapamiento de la misma, si bien sí aparecen unas zonas con menor espesor de masa metálica que otras.

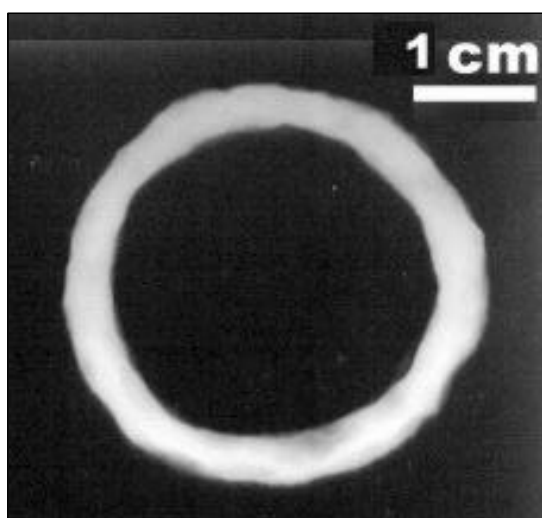


Fig. 298: Radiografía del objeto.

En el estudio microestructural de una sección transversal del aro, se aprecian dos microestructuras claramente diferenciadas en función de su contenido en carbono; una de ellas es de bajo contenido en carbono (Fig. 299), mientras que la otra tiene mayor contenido en este elemento (Fig. 300). Entre estas dos microestructuras se presenta una nueva de contenido intermedio de carbono (Fig. 301).

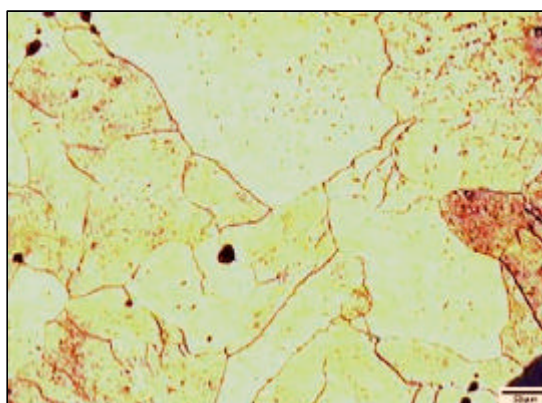


Fig. 299: Microestructura de matriz ferrítica.



Fig. 300: Matriz perlítica con ferrita en límite de grano.



Fig. 301: Matriz ferrítico perlítica, con ferrita acicular.

El grano de las microestructuras ferríticas es equiaxial (Fig. 302) y se presenta rodeado de numerosas escorias direccionadas (Fig. 303).

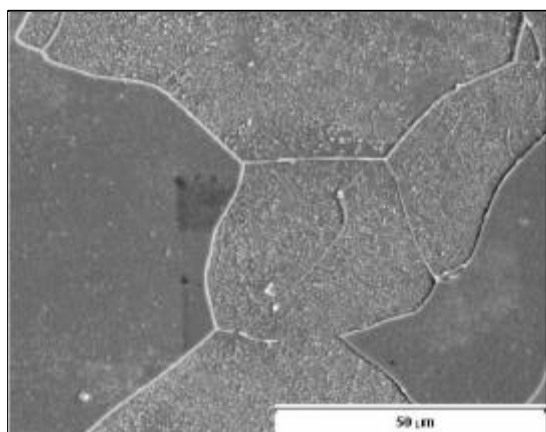


Fig. 302: Microestructura ferrítica.

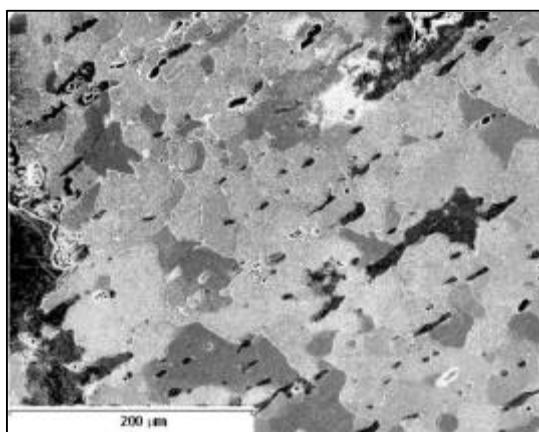


Fig. 303: Escorias direccionadas sobre matriz ferrítica.

Estas escorias (Fig. 304) están formadas por wustita globulizada (Fig. 305) sobre una matriz vítrea formada por calcio, manganeso, aluminio, potasio y silicio (Fig. 306).

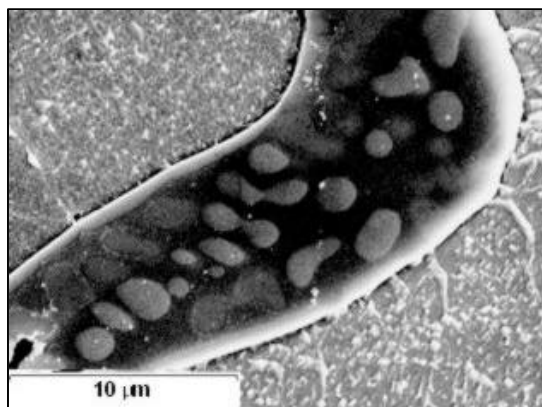


Fig. 304: Detalle de la escoria.

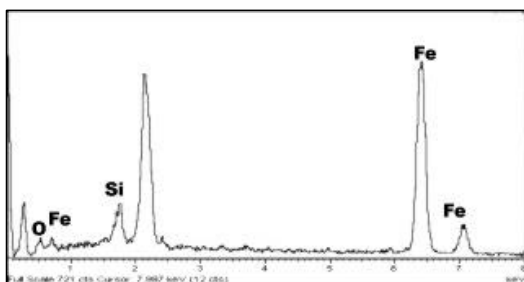


Fig. 305: Identificación del FeO presente en la figura 304.

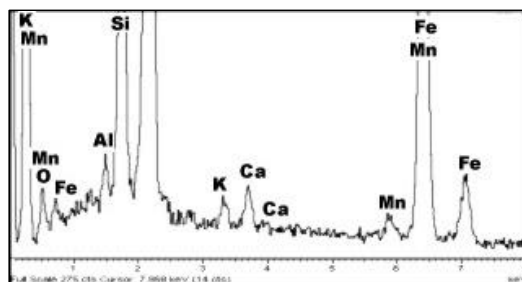


Fig. 306: Identificación de los componentes de la masa vítrea de la escoria de la figura 304.

En las zonas con alto contenido en carbono (Fig. 307) se presenta cementita en límite de grano perlítico (Fig. 308), en otras, ferrita con estructura Widmanstätten (Fig. 309).

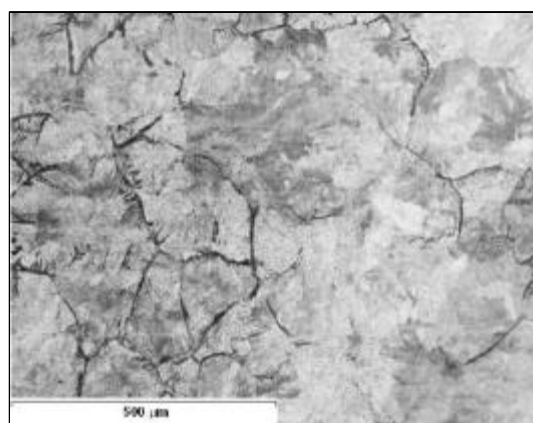


Fig. 307: Matriz perlítica de alto contenido en carbono.

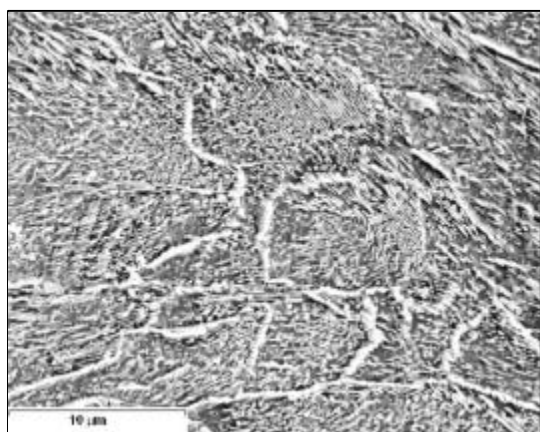


Fig. 308: Cementita precipitada en límite de grano perlítico.

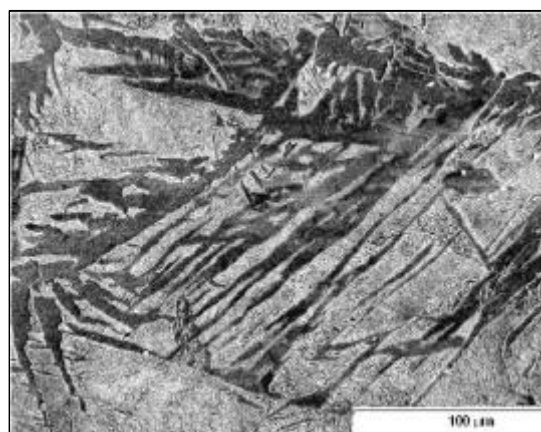


Fig. 309: Ferrita con estructura Widmanstätten.

En las microestructuras intermedias con contenido medio en carbono, se aprecia un enriquecimiento de este elemento en límite de grano (Fig. 310).

Si bien, mediante la utilización de técnicas radiológicas no pudo ser detectada la zona de unión de los extremos de la varilla que constituye el aro, mediante microscopía electrónica pudo ser localizada esta zona. En ella, se observa una escoria que aparece como producto del proceso de soldadura (Fig. 311).

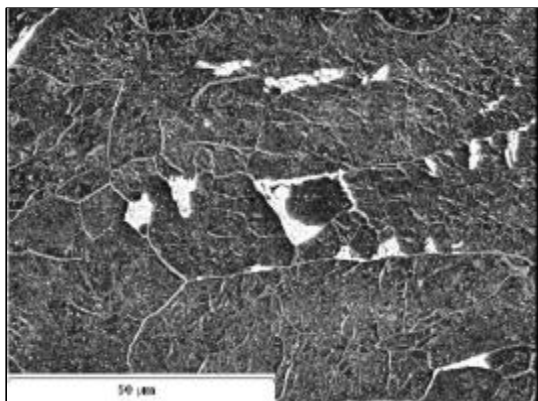


Fig. 310: Matriz ferrítico perlítica.

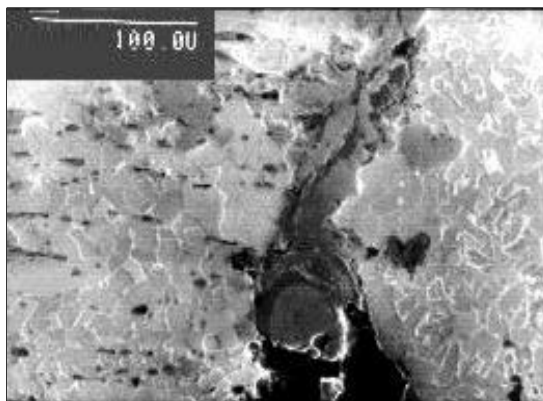


Fig. 311: Escoria de soldadura.

A cada lado de la escoria (defecto de soldadura), se localiza la microestructura de cada uno de los bordes de la varilla (Fig. 312). El análisis EDS de la escoria de soldadura, indica que esta formada principalmente por wustita, aunque también se puede detectar la presencia de silicatos (Fig. 313).

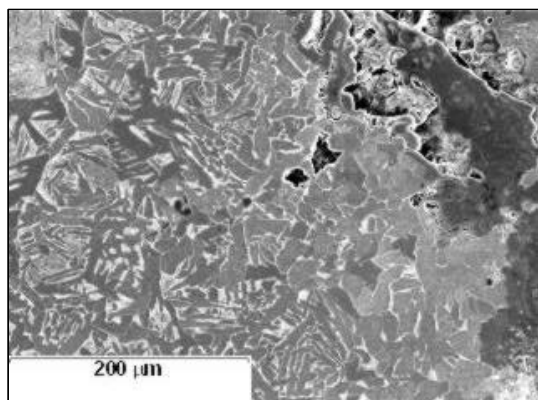


Fig. 312: Detalle de los bordes adyacentes a la escoria de soldadura.

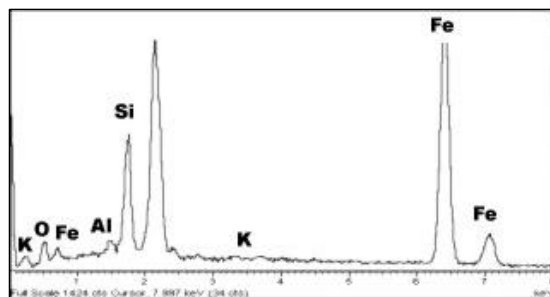


Fig. 313: Identificación de los componentes presentes en la escoria de soldadura.

4.1.12.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza Vickers realizadas en dos secciones transversales de la pieza (Fig. 314) indican que, en ambos casos, existe una zona interna de mayor valor de dureza que la externa (Fig. 315). Además, se pueden observar que los valores de

dureza, para una misma zona (Interna o externa) sufre ligeras variaciones en el valor del mismo dependiendo del área donde se realicen las medidas. Así las zonas internas varían su valor de dureza en aproximadamente ± 20 HV, mientras que las externas lo hacen en un ± 60 HV, dependiendo del área.

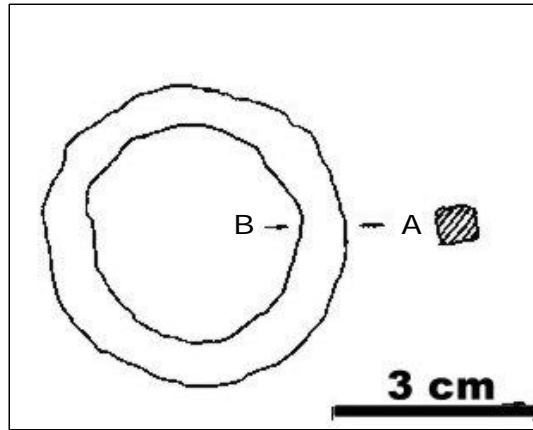


Fig. 314: Esquema del objeto.

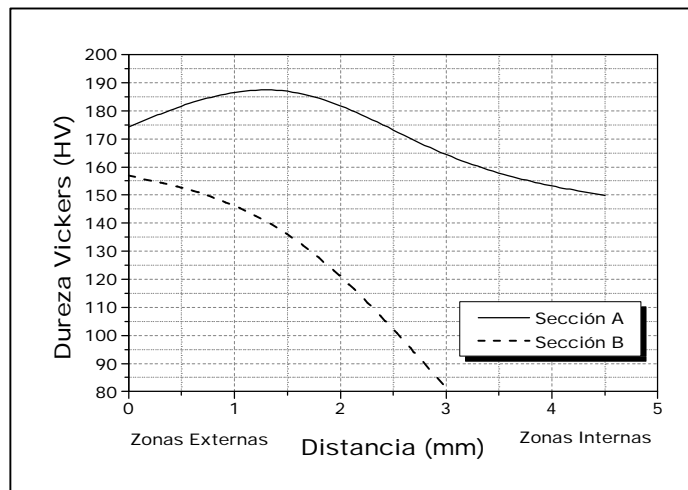


Fig. 315: Perfiles de dureza Vickers de las secciones señaladas en la figura 314.

4.1.12.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico utilizado en la fabricación de esta pieza consistiría en:

- ✍ Conformer una barra de sección cuadrada mediante forja.
- ✍ Curvar utilizando un mandrino o la bigornia del yunque como referencia.
- ✍ Soldar o unir los extremos de la barra mediante forja sobre el mandrino o sobre la bigornia del yunque.

- 296. *Fig. : Objeto denominado Aro.*
- 297. *Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto al aro.*
- 298. *Fig. : Radiografía del objeto.*
- 299. *Fig. : Microestructura de matriz ferrítica.*
- 300. *Fig. : Matriz perlítica con cementita en límite de grano.*
- 301. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica, de ferrita acicular.*
- 302. *Fig. : Microestructura ferrítica.*
- 303. *Fig. : Escorias direccionadas sobre matriz ferrítica.*
- 304. *Fig. : Detalle de la escoria.*
- 305. *Fig. : Identificación del FeO presente en la figura .*
- 306. *Fig. : Identificación de los componentes de la masa vítrea de la de la figura .*
- 307. *Fig. : Matriz perlítica de alto contenido en carbono.*
- 308. *Fig. : Cementita precipitada en límite de grano perlítico.*
- 309. *Fig. : Ferrita de estructura Widmanstätten.*
- 310. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 311. *Fig. : Escoria de soldadura.*
- 312. *Fig. : Detalle de los bordes adyacentes a la escoria de soldadura.*
- 313. *Fig. : Identificación de los componentes presentes en la escoria de soldadura.*
- 314. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 315. *Fig. : Perfiles de dureza Vickers de las secciones señaladas en la figura .*

XXXVII. *Tabla : Dimensiones del Aro.*

XXXVIII. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las pátinas adheridas al aro.*

- 13. KURTZ, W.S.: "La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)". Volumen I. BAR international Series 344. (1987).
- 17. J. M. SOLER, "El poblado ibérico del puntal de Salinas (Alicante)", Estudios de Arqueología Ibérica y romana, Homenaje a Enrique Plá Ballester, Servicio de investigación prehistórica de Valencia, Series de trabajos varios , Número 89, (1992), pp: 51 - 72.
- 105. MALUQUER, J.: "El poblado hallstático de Cortés de Navarra". Estudio crítico I. Diputación foral de Navarra. Institución "Príncipe de Viana". Editorial Gómez. Pamplona. (1958). pp: 133- 137.

4.1.13 Punta de Lanza

4.1.13.1. CATALOGACIÓN

La punta de lanza fue encontrada en la necrópolis de la villa. Esta pieza se catalogó dentro del grupo número 4, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de armas, ya que se supone su utilización como arma de caza, o en la defensa personal.

Este objeto es alargado y estrecho (Fig. 316), distinguiéndose dos zonas bien diferenciadas; una cónica, corta, parcialmente hueca y con una mordedura en forma de astilla, que correspondería a la zona de enmangue, y otra larga, de sección romboidea y acabada en punta. Las dimensiones de ambas zonas son las mostradas en la tabla XXXIX.



Fig. 316: Objeto denominado Punta de Lanza.

Tabla XXXIX: Dimensiones de la Punta de Lanza.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Hoja	Enmangue
Longitud	107.42	47.31
Ancho	16.51 – 6.76	12.33 – 6.76
Grosor	2.33 – 4.28	1.17

Las clasificaciones de puntas de lanza han sido realizadas por diversos autores atendiendo a diferentes criterios. Kurtz [13] clasifica las puntas de lanza en función del tipo de hoja en tres clases diferentes de puntas de lanza:

- ✍ De hoja larga, que es lo clásico y lo más abundante.
- ✍ De hoja corta, su hoja es pequeña, plana y triangular.
- ✍ Cónicos, bien con punta engrosada o simples.

Hay varias explicaciones a esta variedad tipológica; la primera es económica, pues las dos últimas clases serían más baratas, al precisar menos materia prima y trabajo. Otra explicación es funcional, es decir, cada tipo de punta corresponde a una concepción, construcción y utilización diferente de la lanza en cada caso, aunque todos los tipos de puntas de lanza son utilizables en cada tipo posible de lucha.

Quesada [106] clasifica las puntas de lanza de bronce halladas en el yacimiento del Cabecico de Tesoro en Murcia, en función de su tipología, como:

- ✍ Tipo 1: Lanzas largas y estilizadas (32 a 60 cm) con nervio central y cubo comparativamente muy corto en relación con la hoja.
- ✍ Tipo 2: Lanza de tamaño mediano o pequeño (entre 21 y 31 cm), de forma similar a la del tipo 3 pero con nervio central de refuerzo. Las hojas tienden a ser relativamente anchas. Es el arma “intermedia” por excelencia, ni muy corta ni muy larga, con nervio pero no muy estilizada.
- ✍ Tipo 3: Lanza sin nervio. De sección lenticular acusada y tamaño reducido (entre 21 y 31 cm. de longitud total).
- ✍ Tipo 4: Punta de hoja romboidal. Dudosa.
- ✍ Tipo 5: Puntas de Chuzo. De longitud máxima hasta 15 cm. Son puntas cortas, macizas de sección triangular o cuadrangular.

También las clasifica en función de las secciones que presenta como (Fig. 317):

- 1.- Con nervio de sección redondeada.
- 2.- Con nervio de sección cuadrada o romboidal, resultado de los martillazos en la forja o de una actuación intencional.

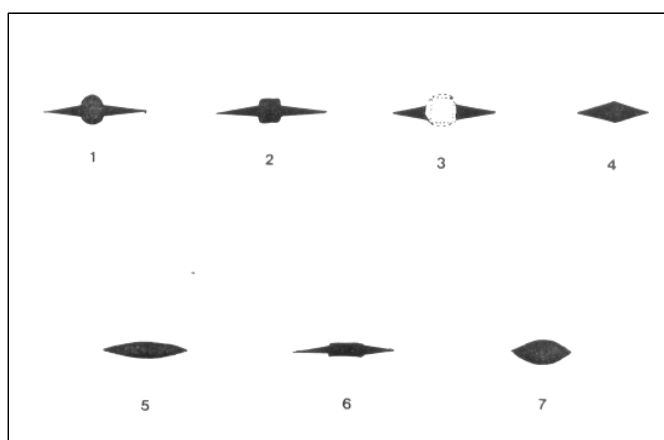


Fig. 317: Clasificación de tipos de lanzas en función de las secciones que presentan, según Quesada .

- 3.- Piezas con nervio en las que no es posible decidir si se trata de una variante 1 o 2.
- 4.- Piezas sin nervio, con cuatro mesas separadas por aristas.
- 5.- Hoja sin nervio, de dos mesas planas, y muy estrechas, con aspecto frágil.
- 6.- Sección de tipo 2 con nervio muy estrecho y aplanado.
- 7.- Sección sin nervio con aspecto lenticular, con una arista separando las mesas apenas insinuadas.

Según la clasificación realizada por Quesada, en este caso se trataría de una punta de lanza Tipo 4 y de sección 4.

4.1.13.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Se ha realizado un análisis mediante Rayos X de esta pieza frontal y lateralmente.

La radiografía frontal (Fig. 318), indica que el estado de conservación de la hoja de la lanza no es muy bueno. También se aprecia que el tubo de empuñadura está muy deteriorado y parece probable, que la falta de masa metálica en uno de sus bordes sea debido a que en esta zona iba alojado el pasador, normalmente éste era un clavo transversal, que servía para sujetar la lanza metálica al palo de madera.

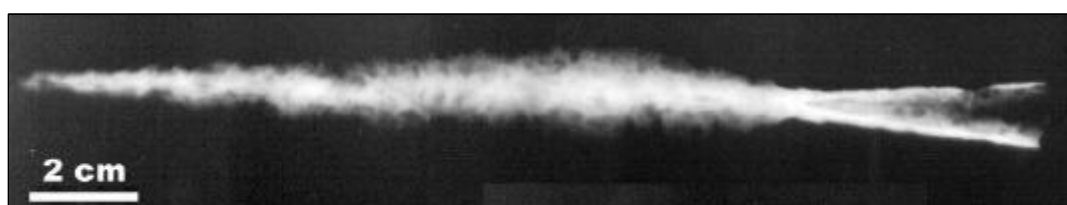


Fig. 318: Radiografía frontal del objeto.

Además, en la radiografía lateral (Fig. 319) no se aprecia señales o defectos de soldadura del tubo de empuñadura con la hoja.

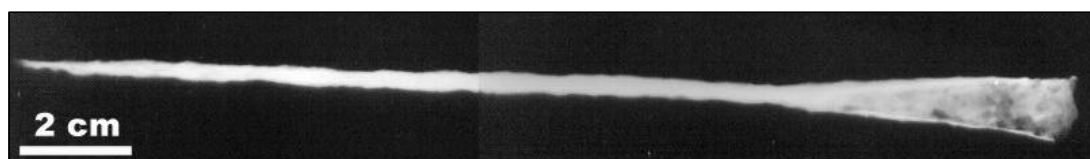


Fig. 319: Radiografía lateral del objeto.

La caracterización microestructural de esta pieza ha sido realizada en diferentes zonas de la misma, en una sección longitudinal de la punta y en secciones transversales, tanto de enmangue como de hoja.

En la zona de punta, macrográficamente, se presenta una escoria de soldadura o unión (Fig. 320), que si bien puede dar la impresión de separación entre bandas de microestructuras diferentes, no es así, ya que se trata de una única capa con microestructura perlítica con pequeños granos de ferrita proeutectoide (Fig. 321) que en algunas zonas aisladas toma estructura Widmanstätten (Fig. 322). Dado que la estructura perlítica es muy fina hace suponer que la velocidad de enfriamiento desde la temperatura de forja, ha sido muy rápida (Fig. 323).

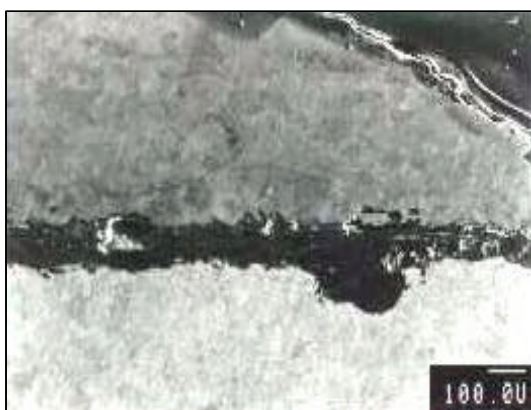


Fig. 320: Macrografía de la zona de punta de la pieza.



Fig. 321: Ferrita proeutectoide en matriz perlítica.



Fig. 322: Ferrita con estructura Widmanstätten en matriz perlítica.

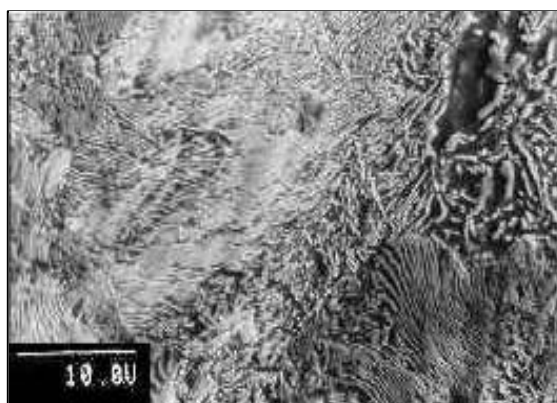


Fig. 323: Detalle de matriz perlítica.

Las secciones transversales de la hoja, presentan dos capas en bandas de microestructuras con distinto contenido en carbono. Así, en uno de los bordes se observan microestructuras de bajo contenido en carbono, de matriz ferrítica (Figs. 324, 325). El contenido en carbono aumenta de forma gradual (Fig. 326) hasta obtener microestructuras ferrítico perlíticas (Fig. 327), en el centro de la pieza.

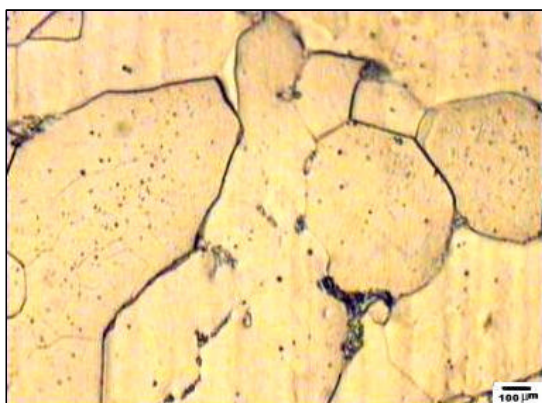


Fig. 324: Matriz ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.

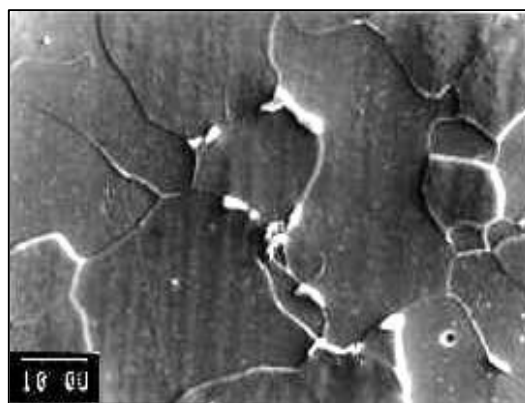


Fig. 325: Imagen de MEB de la matriz ferrítica.

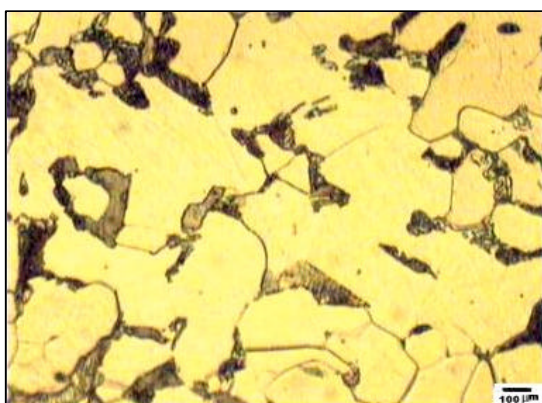


Fig. 326: Matriz ferrítica con colonias perlíticas precipitadas en límite de grano.

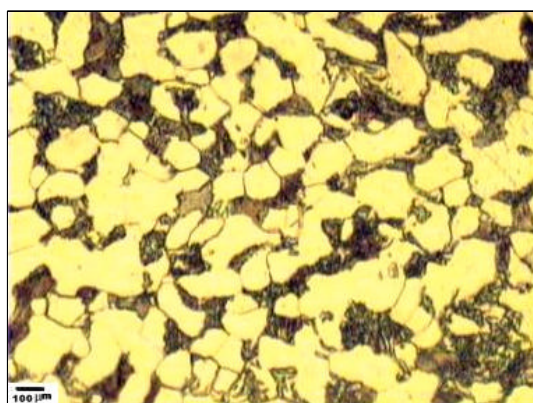


Fig. 327: Matriz ferrítico perlítica.

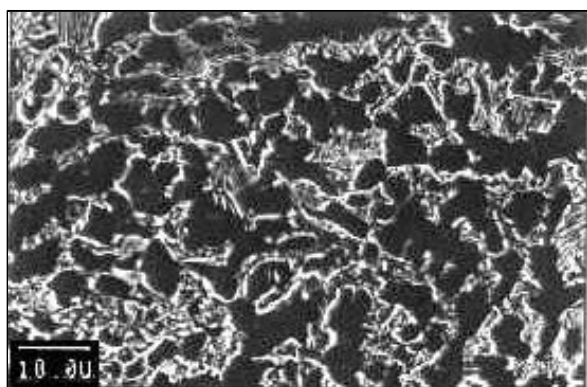


Fig. 328: Matriz ferrítico perlítica de grano fino.

En estas zonas centrales, se puede observar que el tamaño de grano es muy fino (Fig. 328) y que ha existido un proceso de recrystalización por acritud de un acero hipoeutectoide (Fig. 329) presentándose, en ocasiones, subgranos de recrystalización (Fig. 330).

El número de colonias perlíticas se incrementarán en detrimento de las zonas ferríticas (Fig. 331) hasta presentarse, en el otro extremo de la sección, microestructuras totalmente perlíticas eutectoides (Fig. 332).

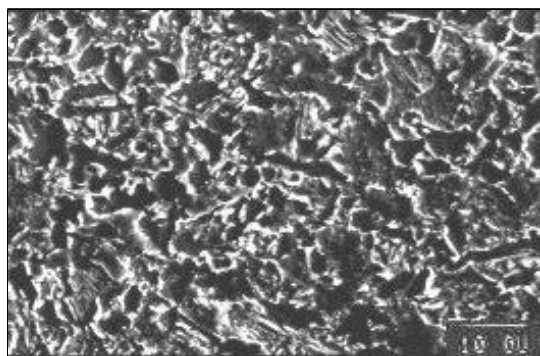


Fig. 329: Microestructura de acero hipoeutectoide.

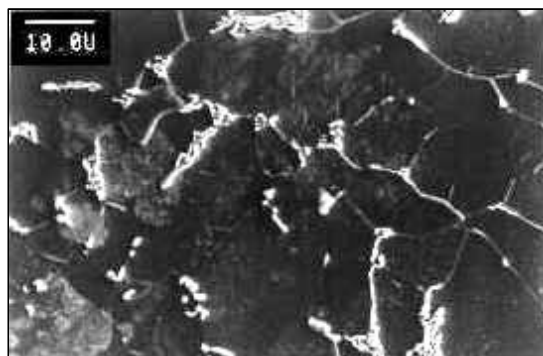


Fig. 330: Detalle de matriz hipoeutectoide con subgranos de recrystalización.



Fig. 331: Microestructura perlítico ferrítica.

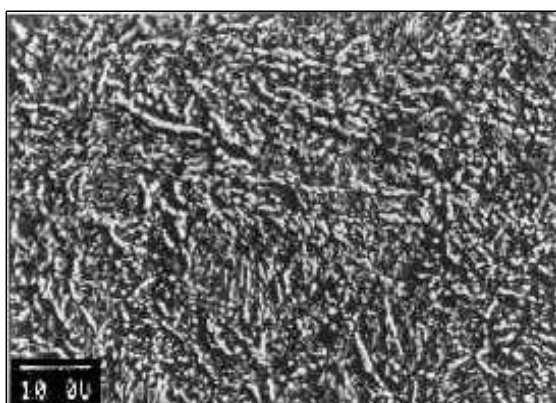


Fig. 332: Detalle de microestructura perlítica.

Por otro lado, en las secciones transversales de la zona de enmangue, se recogen la totalidad de las microestructuras anteriormente observadas: Zonas de bajo contenido en carbono hipoeutectoide de matriz ferrítica (Fig. 333), zonas de contenidos bajos medios en este elemento con estructura ferrítico perlítica (Fig. 334), y zonas de alto contenido en carbono (Fig. 335), acero eutectoide.

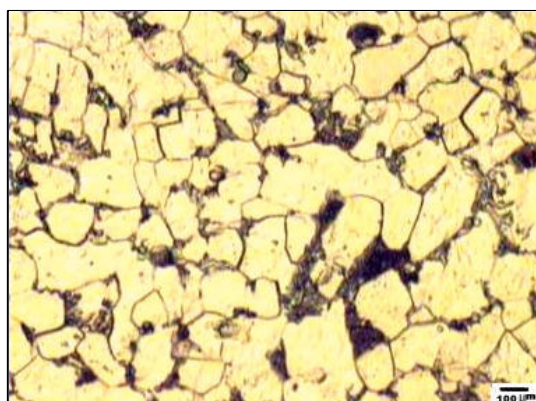


Fig. 333: Matriz ferrítica.

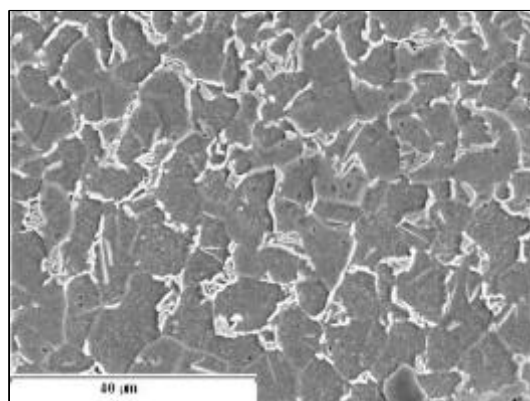


Fig. 334: Matriz ferrítico perlítica.

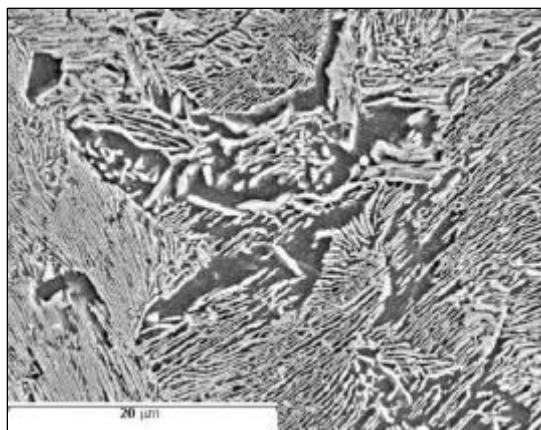


Fig. 335: Matriz perlítica.

De forma particular en las zonas de contenido medio en carbono, se observa la presencia de escorias (Fig. 336), cuyo análisis EDS indica que se trata de escorias de matriz fayalítica (Fig. 337).

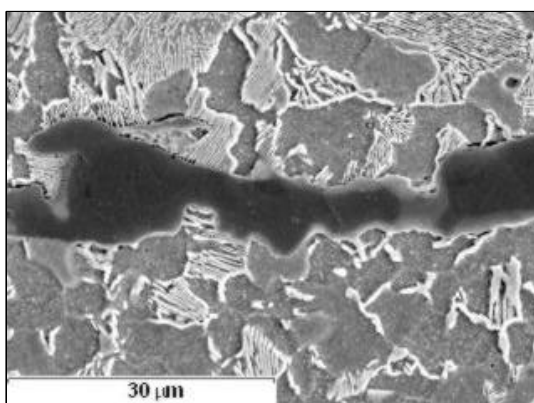


Fig. 336: Escoria longitudinal en matriz ferrítico perlítica.

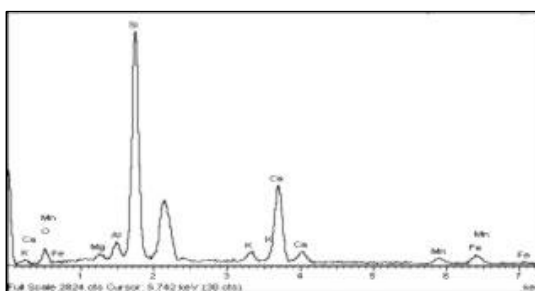


Fig. 337: Identificación EDS de los componentes de la escoria presente en figura 336.

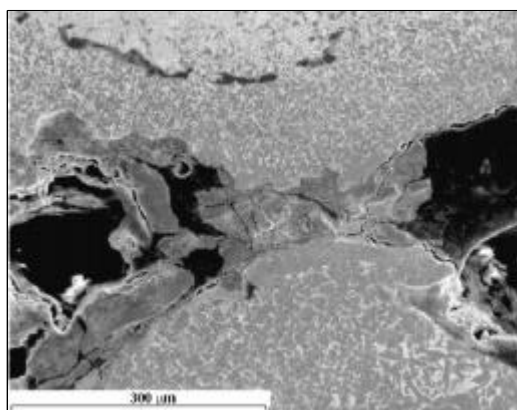


Fig. 338: Escorias en zona de solapamiento del cono de la pieza.

La zona de solapamiento de la lámina que constituye el enmangue o cono (Fig. 338), presenta gran cantidad de escorias y productos de corrosión (Fig. 339), que quedan identificados principalmente como FeO (Fig. 340).

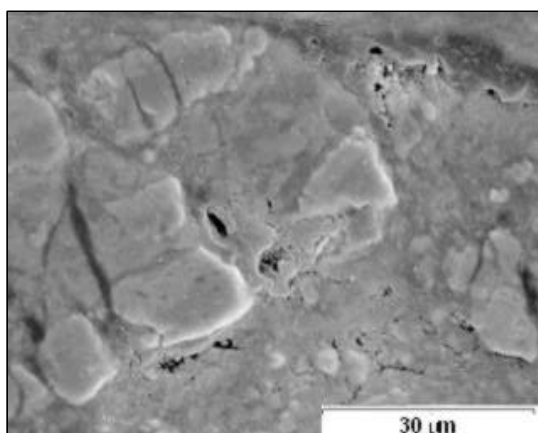


Fig. 339: Detalle de las escorias presentes en la zona de solape.

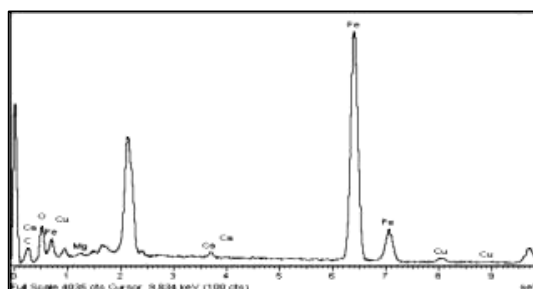


Fig. 340: Identificación EDS de los componentes de la escoria.

4.1.13.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores medidos de dureza Vickers en este objeto (Fig. 341), fueron tomados tanto en la sección longitudinal como en la transversal, de la hoja.

En la sección transversal de la hoja se presenta un perfil de dureza (Fig. 342) con la existencia de un mínimo valor que se corresponde con una microestructura ferrítica, por el contrario los máximos corresponden a microestructuras de alto contenido en carbono.

En la sección longitudinal se presenta un perfil de dureza (Fig. 343), con valores máximos en la zona de punta, y en la zona de empuñadura.

4.1.13.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico de fabricación de esta pieza, consistiría en:

- ✍ Unir dos barras de distinto contenido en carbono.
- ✍ Conformer la forma de la hoja mediante forja.
- ✍ Laminar la zona de empuñadura de la pieza.
- ✍ Curvar la lámina sobre la bigornia o utillaje con forma tronco cónica.
- ✍ Afilar la pieza.
- ✍ Enmangar y clavar el pasador.

316. Fig.: Objeto denominado *Punta de Lanza*.
317. Fig.: Clasificación de tipos de lanzas en función de las secciones que presentan, según Quesada .
318. Fig. : Radiografía frontal del objeto.
319. Fig. : Radiografía lateral del objeto.
320. Fig. : Macrografía de la zona de punta de la pieza.
321. Fig. : Cementita proeutectoide en matriz perlítica.
322. Fig. : Ferrita con estructura Widdmanstätten en matriz perlítica.
323. Fig. : Detalle de matriz perlítica.
324. Fig. : Matriz ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.
325. Fig. : Imagen de SEM de la matriz ferrítica.
326. Fig. : Matriz ferrítica con colonias perlíticas precipitadas en límite de grano.
327. Fig. : Matriz ferrítico perlítica.
328. Fig. : Matriz ferrítico perlítica de grano fino.
329. Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide.
330. Fig.: Detalle de matriz hipoeutectoide con subgranos de recristalización.
331. Fig. : Microestructura perlítico ferrítica.
332. Fig. : Detalle de microestructura perlítica.
333. Fig. : Matriz ferrítica.
334. Fig. : Matriz ferrítico perlítica.
335. Fig. : Matriz perlítica.
336. Fig. : Escoria longitudinal en matriz ferrítico perlítica.
337. Fig. : Identificación de los componentes de la escoria.
338. Fig. : Escorias en zona de solapamiento del cono de la pieza.
339. Fig. : Detalle de las escorias presentes en la zona de solape.
340. Fig. : Identificación de los componentes de la escoria.
341. Fig. : Esquema del objeto.
342. Fig. : Perfil de durezas de la sección transversal AB de la pieza.
343. Fig. : Perfil de durezas de la sección longitudinal A'B' de la pieza.

XXXIX. Tabla : Dimensiones de la Punta de Lanza.

13. KURTZ, W.S.: "La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)". Volumen I. BAR international Series 344. (1987).

106. QUESADA SANZ, F.: "Armamento, guerra y sociedad en la necrópolis ibérica de El Cabecico del Tesoro (Murcia, España)". Volumen I. BAR International Series 502 (I). (1989). pp: 202-207.

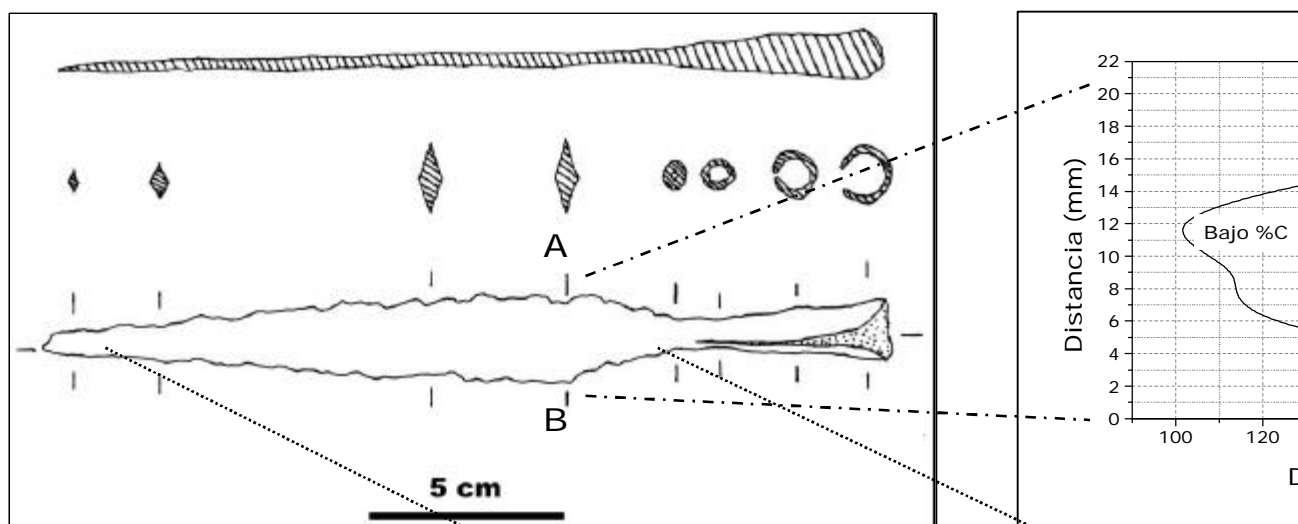
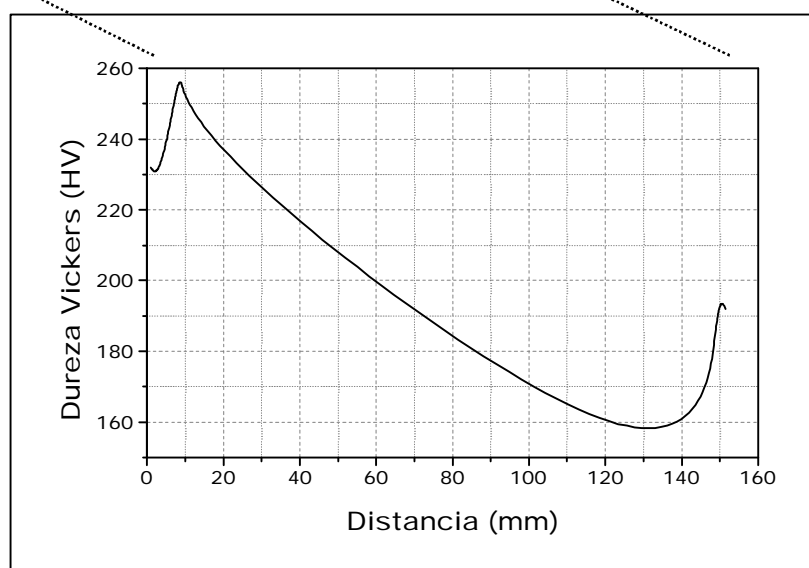


Fig. 341: Esquema del objeto.



4.1.14 Cruceta

4.1.14.1. CATALOGACIÓN

La cruceta es un fragmento de metal que fue encontrado en la necrópolis de la villa.

El objeto se reconoció dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o utillaje doméstico, ya que se supone que este objeto es un fragmento de un mueble. También se le puede dar una utilidad como arma por lo cual quedaría catalogado dentro del grupo número 4, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o armas.

La pieza tiene forma de cruz (Fig. 344) y los brazos muestran sección rectangular. Además, el brazo largo es más ancho que los brazos cortos, y terminan en punta. Las dimensiones de la pieza se presentan en la tabla XL.



Fig. 344: Objeto denominado Cruceta.

Tabla XL: Dimensiones de la Cruceta.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Brazo Largo	Brazo Corto
Longitud	113.79	48.52
Ancho	18.38 – 8.57	16.36
Grosor	15.89 - 9	13.75

4.1.14.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Se ha realizado la caracterización microestructural de la cruceta en las dos secciones transversales denominadas como sección AB y sección A'B' (Fig. 344)

En la sección transversal AB (Fig. 345), se presentan microestructuras con distinto contenido en carbono, en función de la zona que estemos estudiando; externa, central o pátina de corrosión.

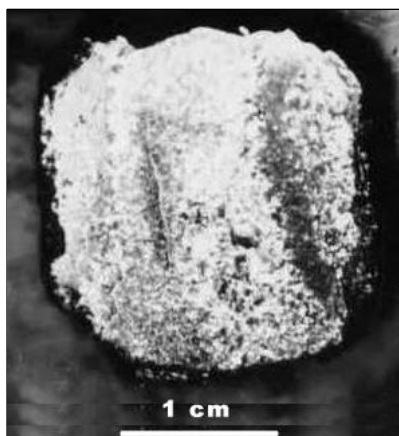


Fig. 345: Sección transversal de la pieza denominada como AB en la figura 344.

En las zonas externas se presentan microestructuras perlíticas con cementita reticular en límite de grano (Fig. 346), además de microestructuras muy deformadas (Fig. 347) con cementita globulizada.

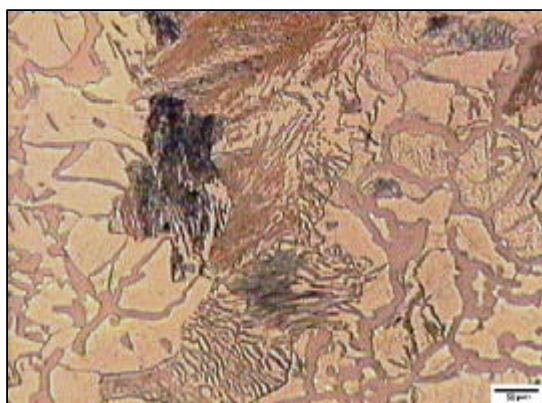


Fig. 346: Cementita precipitada en límite de grano con perlita intragranular.



Fig. 347: Matriz de grano deformado junta a grieta.

Las escorias que se presentan en esta pieza (Fig. 348) no poseen una naturaleza férrea (Fig. 349), sino silícea (Fig. 350).



Fig. 348: Detalle de una escoria presente en la sección objeto de estudio.

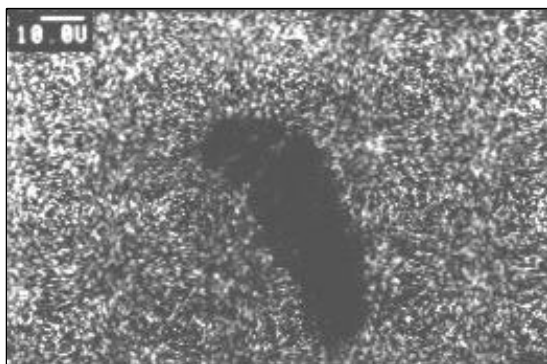


Fig. 349: Imagen de RX. La presencia del elemento hierro viene asociada a la fase clara de la imagen.

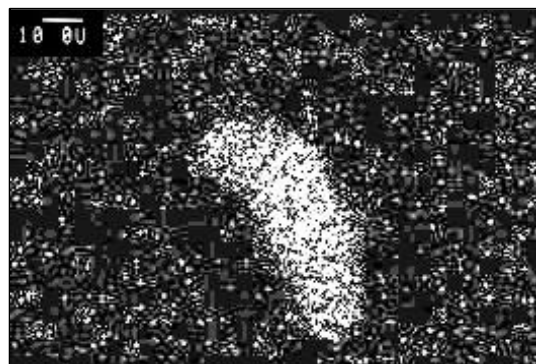


Fig. 350: Imagen de RX. La presencia del elemento silicio está asociado a la fase clara de la imagen.

En las zonas centrales de la sección se presentan microestructuras ferrítico perlíticas (Fig. 351) donde la perlita es grosera (Fig. 352). También, al igual que sucedía en las zonas externas, se presentan zonas donde la cementita parece haber sufrido un incipiente recocido de globulización (Fig. 353).

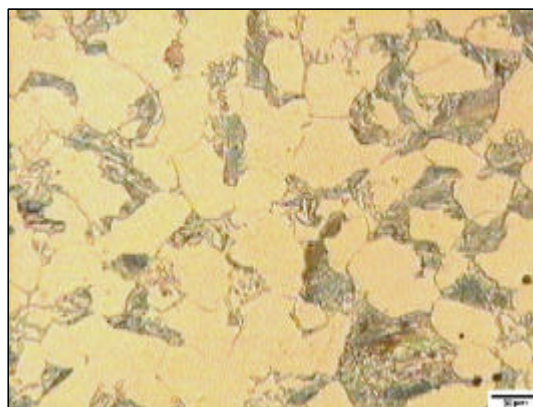


Fig. 351: Matriz ferrítico perlítica.

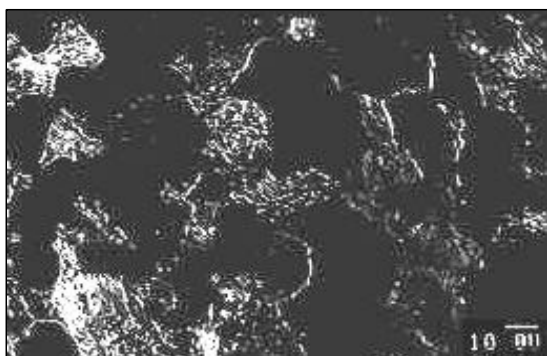


Fig. 352: Detalle de matriz ferrítico perlítica.

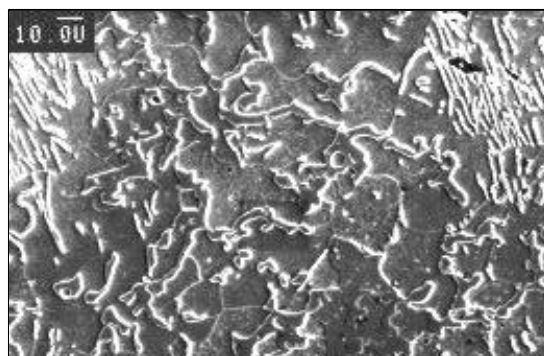


Fig. 353: Cementita globulizada incipientemente.

Por último, en la caracterización de esta sección, en la pátina o zona de corrosión, se aprecia un frente plano de corrosión de la ferrita y cementita del eutectoide (Fig. 354), aunque, en algunas zonas, el frente de corrosión es de tipo preferente (Fig. 355). El análisis de los productos de corrosión (Fig. 356), indica que están formados por carbonato de hierro (Fig. 357) y por wustita (Fig. 358).

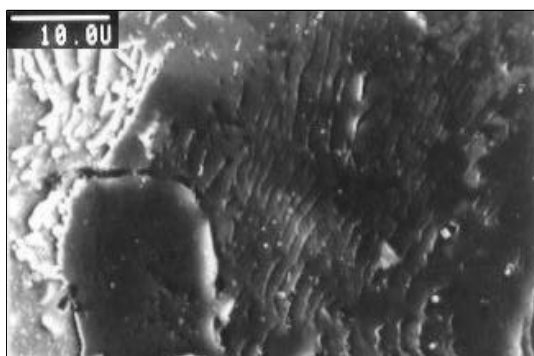


Fig. 354: Frente de corrosión plano.

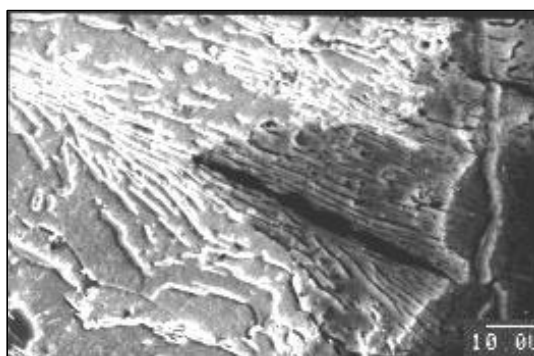


Fig. 355: Frente de corrosión preferencial.

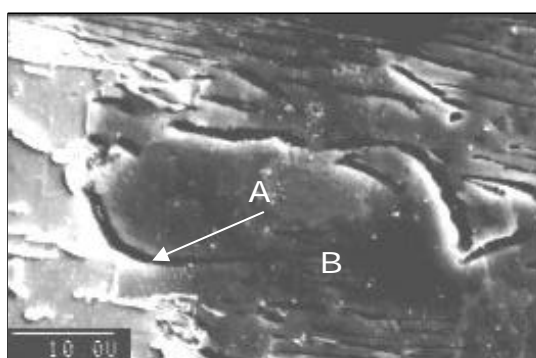


Fig. 356: Detalle de la zona de corrosión.

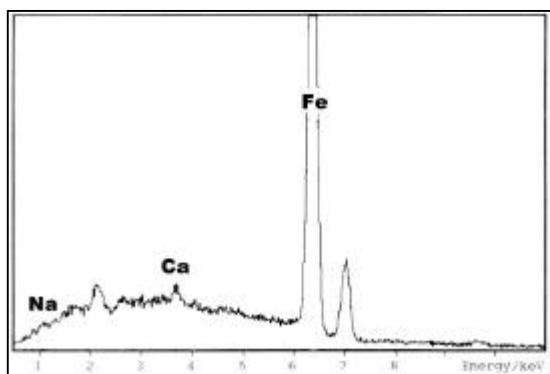


Fig. 357: Identificación de los componentes de la escoria denominada A en la figura 356.

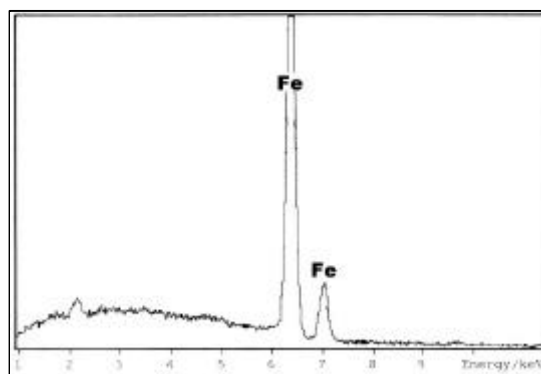


Fig. 358: Identificación de los componentes de la zona B de la figura 356.

La otra sección objeto de estudio, la denominada como sección A'B' (Fig. 359), presenta una microestructura perlítica en uno de los bordes (Figs. 360 y 361) mientras que en las zonas centrales de la sección se ve aumentado el contenido cementítico, tanto en forma globular (Figs. 362 y 363), como reticular (Fig. 364), en detrimento del contenido en perlita. Este fenómeno puede explicarse si se tiene en cuenta, al ser sometida la pieza a un proceso de forja, que la cementita (fase constituyente de la perlita) disminuya al disolverse durante el proceso, y ello hace que crezca la cantidad y el grosor de la cementita reticular. En ocasiones la cementita se presenta rodeando una escoria de colada (Fig. 365).

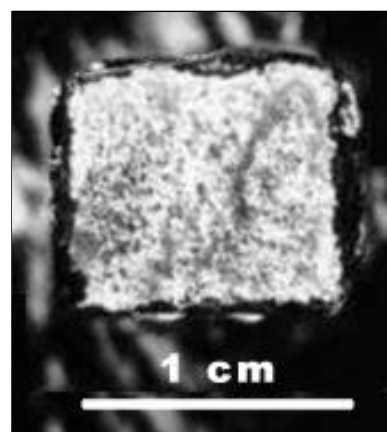


Fig. 359: Sección transversal de la pieza denominada como A'B' en la figura 344



Fig. 360: Matriz perlítica.

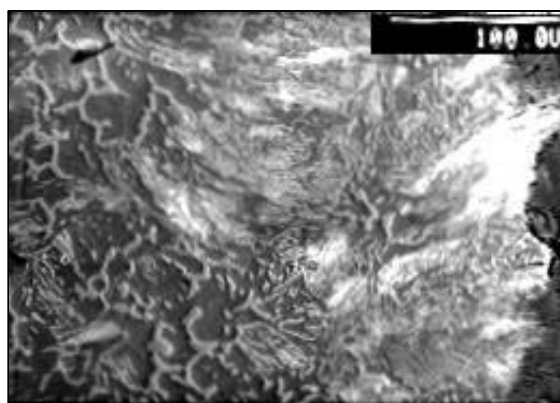


Fig. 361: Microestructura perlítica en el borde de la sección.

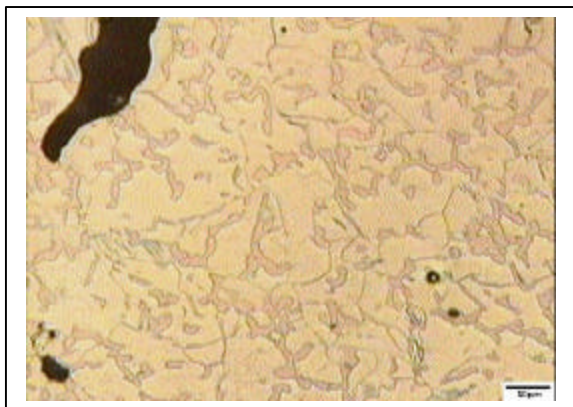


Fig. 362: Cementita precipitada sobre matriz ferrítica.

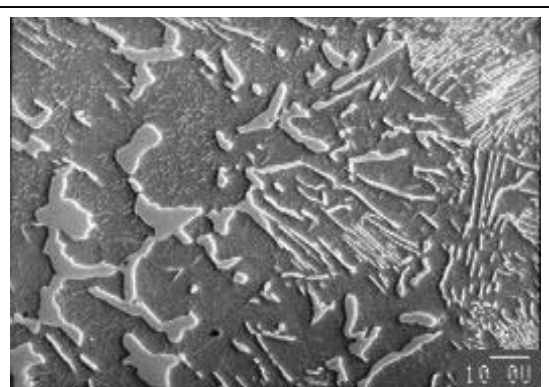


Fig. 363: Cementita parcialmente globulizada.

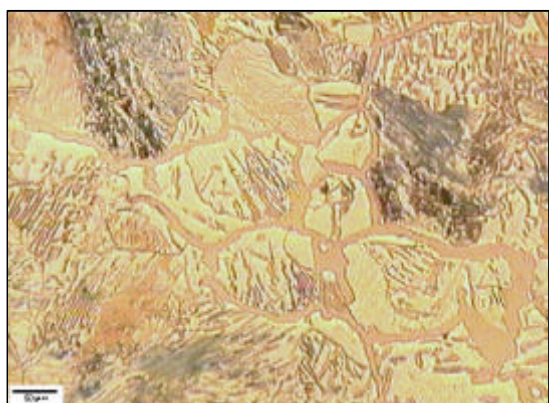


Fig. 364: Cementita reticular y perlita.

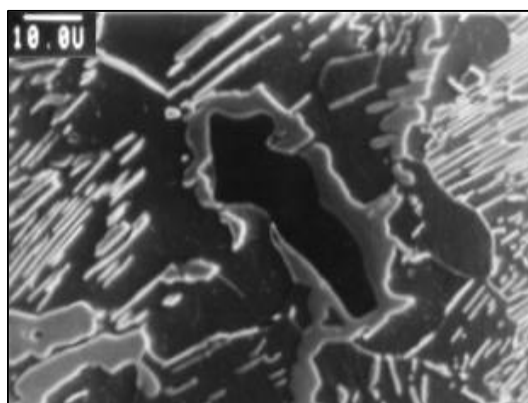


Fig. 365: Cementita rodeando una escoria.

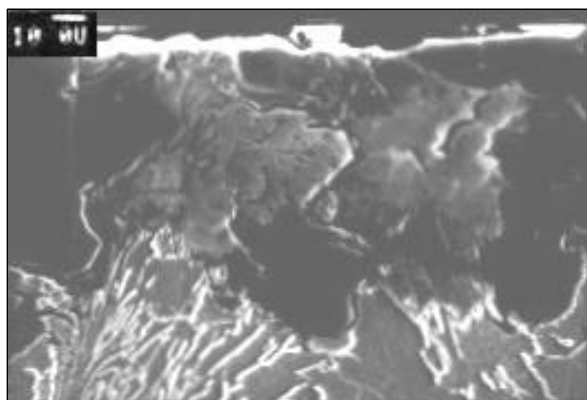


Fig. 366: Micrografía de la zona de degradación o pátina de corrosión.

En esta sección, también ha sido estudiada la zona de corrosión externa (Figs. 366 y 367). En la figura 368 se observa la presencia de Siderita asociada a la corrosión de la cementita.

Las fases producto del proceso de corrosión (Fig. 369) muestran todos los estadios de transformación de la cementita en; sin transformar, marcada como A en la figura 369 (Fig. 370), transformándose, marcada como B en la figura 369 (Fig. 371) y transformada, marcada como C en la figura 369 (Fig. 372).

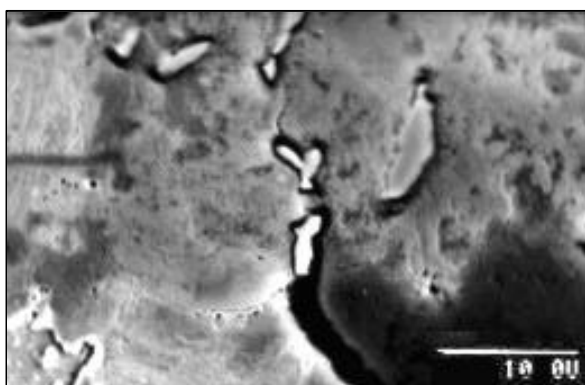


Fig. 367: Detalle de la figura 366.

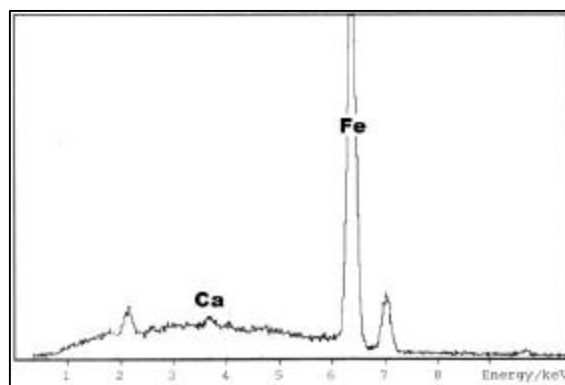


Fig. 368: Identificación EDS de la fase blanca de la figura 367.

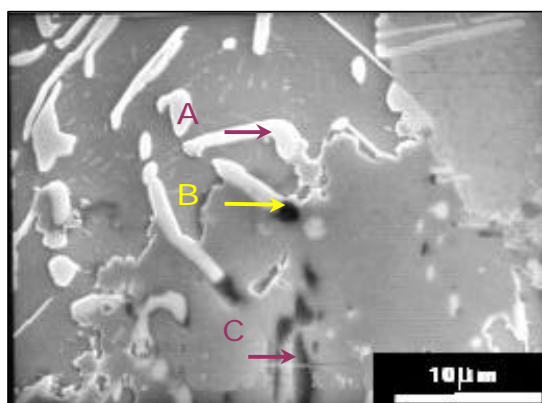


Fig. 369: Micrografía de la zona de corrosión.

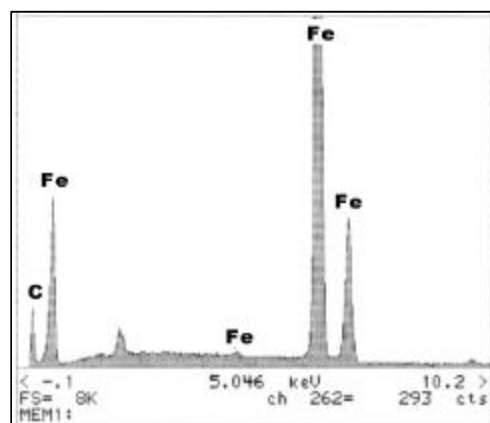


Fig. 370: Identificación EDS de los componentes señalados como A en la figura 369.

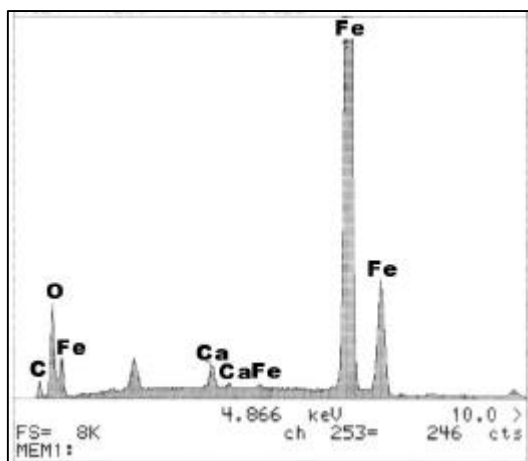


Fig. 371: Identificación EDS de los componentes señalados como B en la figura 369.

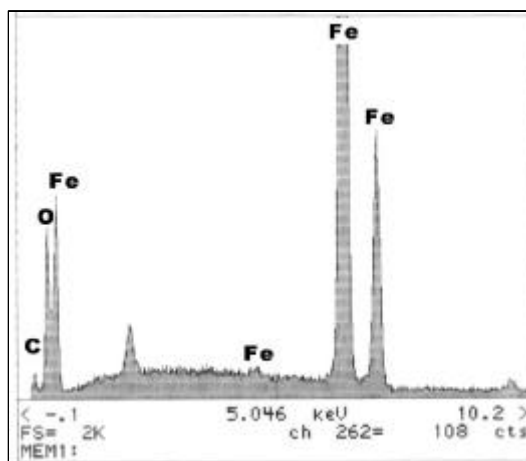


Fig. 372: Identificación EDS de los componentes señalados como C en la figura 369.

4.1.14.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers obtenidos en las dos secciones que centraron el estudio de esta pieza (Fig. 373), presentan perfiles de dureza irregulares.

Así, en la sección denominada AB (Fig. 374), se obtuvo una curva con dos mínimos, que corresponden a microestructuras de cementita globulizada sobre una matriz ferrítica (150 HV). Los valores máximos corresponden a microestructuras donde hay más carbono (170 - 180 HV).

En la sección denominada A'B' (Fig. 375), la curva que representa el perfil de dureza, se muestra más regular. La presencia de un mínimo corresponde a una microestructura de cementita globular (150 HV), mientras que los valores máximos se corresponden con una estructura perlítica con cementita reticular (180 HV).

4.1.14.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico utilizado en la fabricación de la cruceta consistiría en:

- ✍ Forjar a alta temperatura, el brazo más largo de la cruz a partir de una barra de acero rico en carbono.
- ✍ Engrosar los brazos de la pieza mediante la superposición de láminas.

344. Fig.: Objeto denominado Cruceta.
345. Fig. : Sección transversal de la pieza denominada como AB.
346. Fig. : Cementita precipitada en límite de grano con perlita intragranular.
347. Fig. : Matriz de grano deformado junta a grieta.
348. Fig. : Detalle de una escoria presente en la sección objeto de estudio.
349. Fig. : Imagen de RX de la presencia del elemento hierro.
350. Fig. : Imagen de RX de la presencia del elemento silicio.
351. Fig. : Matriz ferrítico perlítica.
352. Fig. : Detalle de matriz ferrítico perlítica.
353. Fig. : Cementita globulizada incipientemente.
354. Fig. : Frente de corrosión plano.
355. Fig. : Frente de corrosión preferencial.
356. Fig. : Detalle de la zona de corrosión.
357. Fig. : Identificación de los componentes de la escoria denominada A.
358. Fig. : Identificación de los componentes de la zona B de la figura .
359. Fig. : Sección transversal de la pieza denominada como A'B'.
360. Fig. : Matriz perlítica.
361. Fig. : Microestructura perlítica en el borde de la sección.
362. Fig. : Cementita precipitada sobre matriz ferrítica.
363. Fig. : Cementita globulizada.
364. Fig. : Cementita reticular.
365. Fig. : Cementita en límite de grano de escoria.
366. Fig. : Micrografía de la zona de degradación o pátina de corrosión.
367. Fig. : Detalle de la figura .
368. Fig. : Identificación de la fase blanca de la figura .
369. Fig. : Micrografía de la zona de corrosión.
370. Fig. : Identificación de los componentes señalados como A en la figura .
371. Fig. : Identificación de los componentes señalados como B en la figura .
372. Fig. : Identificación de los componentes señalados como C en la figura .
373. Fig. :Esquema de la Cruceta.
374. Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección de la figura denominada AB.
375. Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección de la figura denominada A'B'.

XL. Tabla : Dimensiones de la Cruceta.

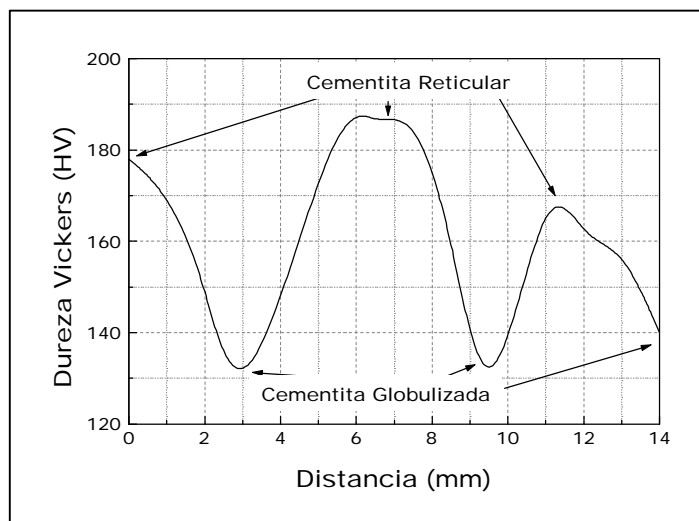


Fig. 374: Perfil de dureza Vickers en la sección de la figura 373, denominada AB.

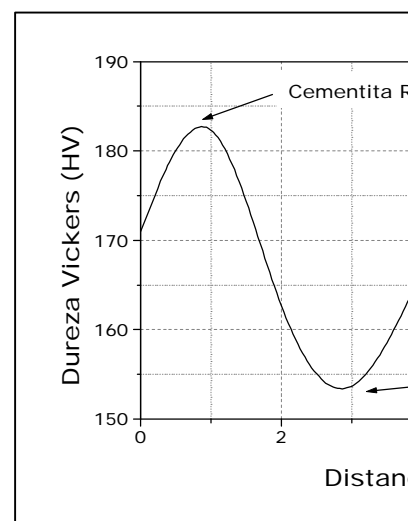


Fig. 375: Perfil de dureza Vickers en la sección de la figura 373, denominada AC.

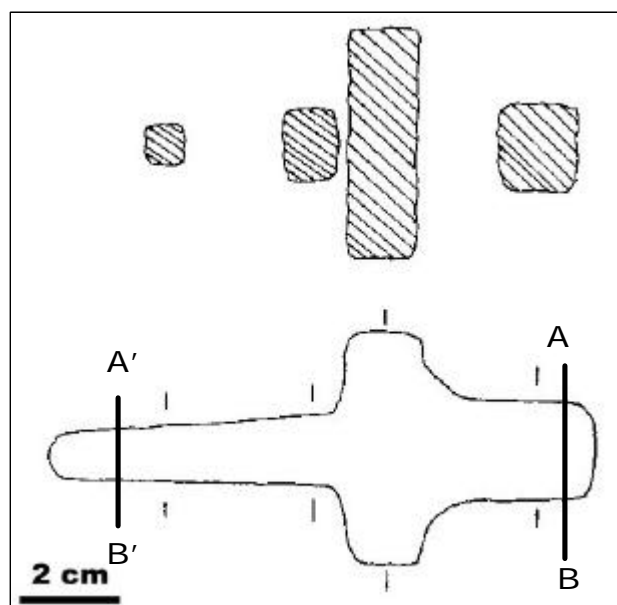


Fig. 373:E

4.1.15 Alcayata

4.1.15.1. CATALOGACIÓN

La alcayata es una pieza de la que se desconoce el lugar exacto de hallazgo, pero se cree que procede de la necrópolis de la villa romana de "La Olmeda", y que posteriormente fue consolidada en el Museo de Saldaña.

Este objeto se reconoció dentro del grupo número 2, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de utillaje doméstico por el posible uso que tendría en la vida cotidiana de las personas que habitaron esta villa.

Se trata de una pieza pequeña y curvada, con un extremo corto y plano, mientras que el otro es largo, de sección cuadrada y terminado en punta (Fig. 376) y cuyas dimensiones se muestran en la XLI.



Fig. 376: Objeto denominado Alcayata.

Tabla XLI: Dimensiones de la alcayata.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	81.59
Anchura	46.57
Grosor	13.65

4.1.15.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de la pieza se llevó a cabo en tres secciones de la misma. Se estudió un corte transversal y dos secciones longitudinales, la zona de curva, y la punta de la pieza.

En la sección longitudinal de la zona de punta de la alcayata, se observó una microestructura de ferrita equiaxial con pequeñas cantidades de cementita terciaria precipitada en el límite de grano, y numerosas escorias (Figs. 377 y 378). El grano ferrítico se presenta en ocasiones recrystalizado (Fig. 379).

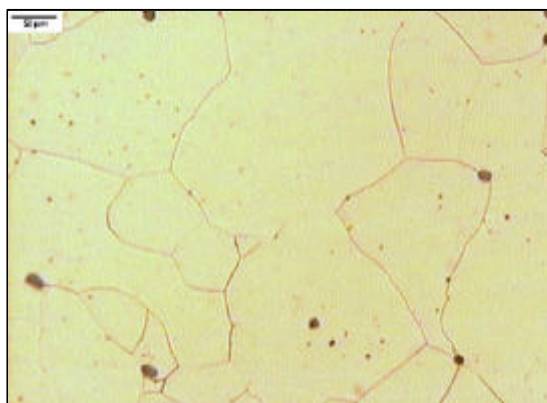


Fig. 377: Matriz ferrítica con escorias.

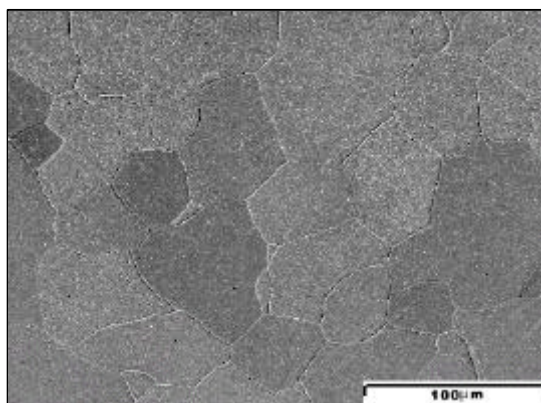


Fig. 378: Matriz ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.

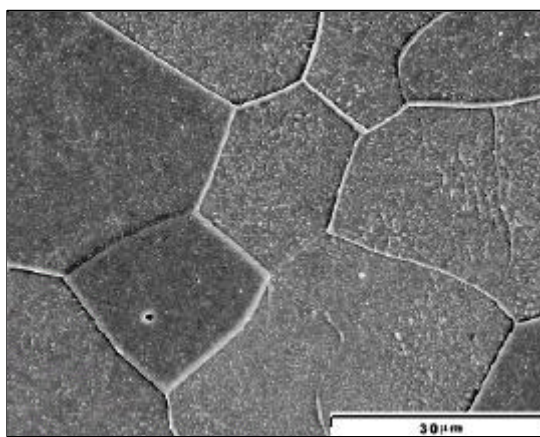


Fig. 379: Ferrita recristalizada.

El tamaño del grano ferrítico disminuye a medida nos acercamos a la zona de punta, aumentando su grado de deformación (Fig. 380). Aparecen zonas donde el contenido en carbono se ve ligeramente incrementado (Fig. 381).

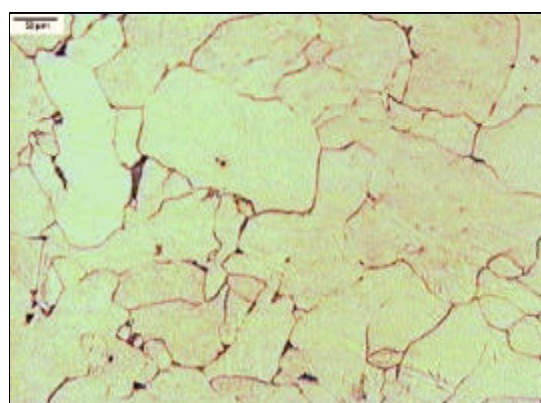


Fig. 380: Matriz ferrítica de grano deformado.

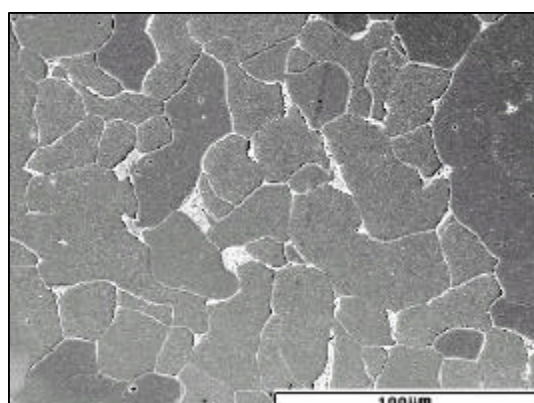


Fig. 381: Matriz ferrítica con presencia de colonias perlíticas.

Además, en la punta de la alcayata se una microestructura de recristalización de grano con un contenido perlítico pequeño (Fig. 382). En las matrices ferríticas aparecen escorias que contienen wustita (FeO), que adopta una estructura dendrítica (Fig. 383).

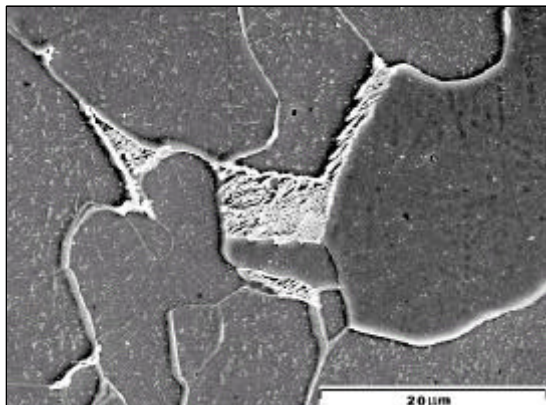


Fig. 382: Detalle de las colonias perlíticas.



Fig. 383: Escoria con Wustita dendrítica.

La sección longitudinal en la zona de curva, muestra una estructura de ferrítica con mayor deformación. La ferrita presenta mayor tamaño de grano en el centro de esta zona (Fig. 384) que en los bordes de la pieza (Fig. 385).

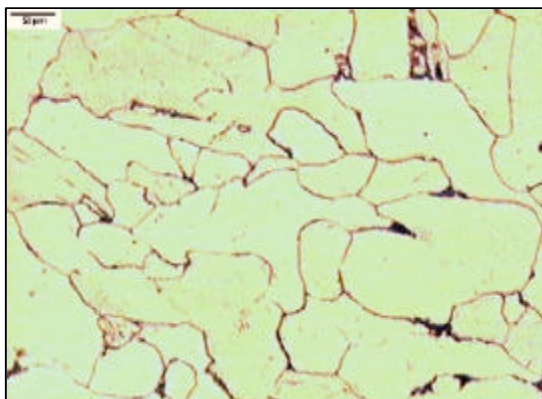


Fig. 384: Matriz ferrítica de grano deformado. Aumento del tamaño de grano en el centro de la pieza.

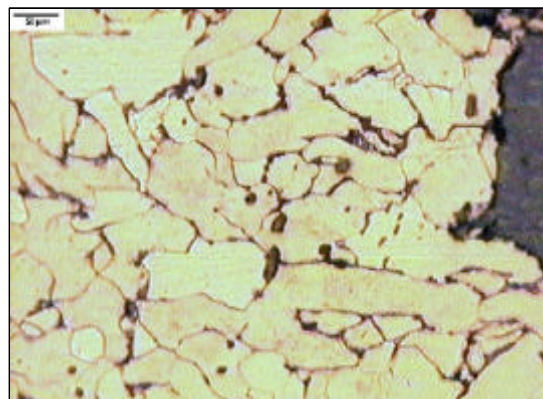


Fig. 385: Matriz ferrítica de grano deformado en el borde de la pieza.

En esta zona de curva las escorias presentan en su interior wustita, caracterizada morfológicamente, en forma globulizada (Fig. 386).

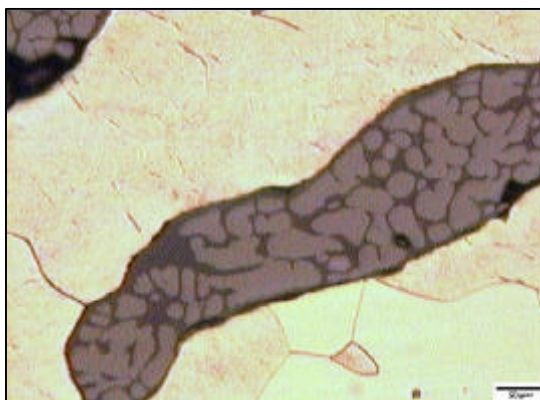


Fig. 386: Escoria con wustita globulizada.

Por último, la sección transversal de la pieza, muestra numerosas escorias de calda (Fig. 387) asociadas a ferrita equiaxial (Fig. 388).

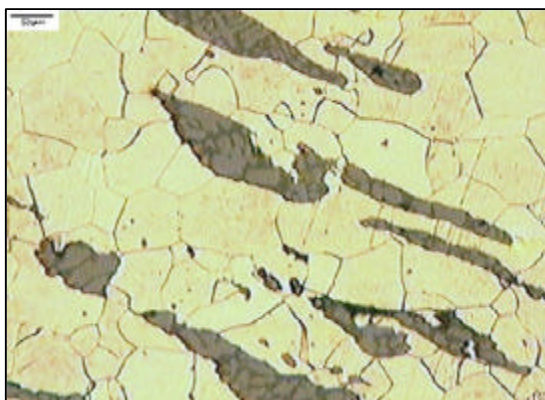


Fig. 387: Escorias direccionadas.

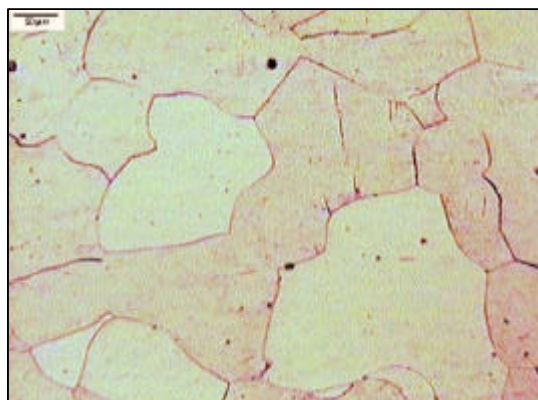


Fig. 388: Matriz ferrítica de diferentes tamaños de grano.

4.1.15.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza Vickers de la alcayata (Fig. 389), han sido tomadas en la sección longitudinal.

Se pudo comprobar una uniformidad en los valores obtenidos. Este hecho es debido a la homogeneidad de la microestructura observada en la pieza (ferrita equiaxial), estando el valor medio alrededor de los 100 HV.

Cabe destacar, que en la punta se alcanzan los mayores valores de dureza, así como en la zona cóncava interna de la pieza, que corresponden a zonas sometidas a una mayor deformación; el valor de dureza obtenido para zonas de deformación (ferrita deformada) es de 124 HV (Fig. 390).

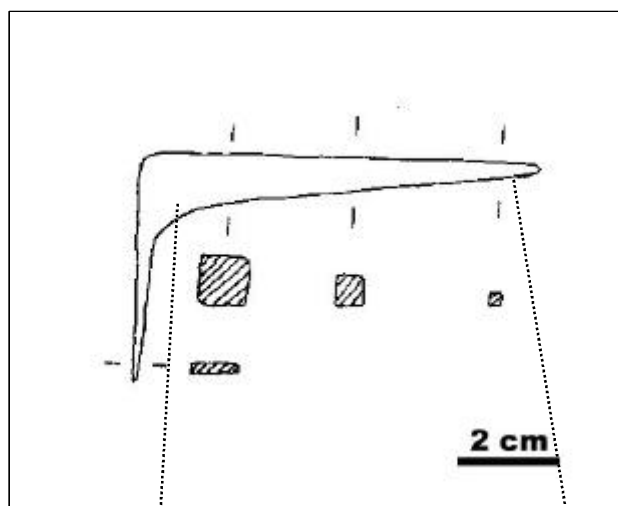


Fig. 389: Esquema de la alcayata.

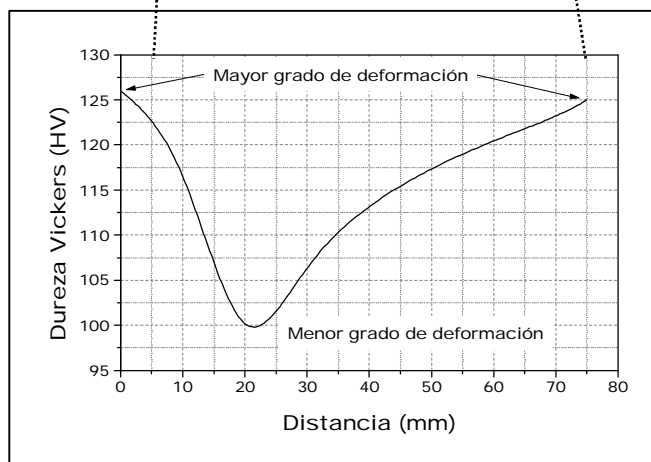


Fig. 390: Perfil de dureza Vickers en la sección longitudinal de la pieza.

4.1.15.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico llevado a cabo en la fabricación de la alcayata consistiría en:

- ✂ El material de partida para la fabricación de este objeto podría tener su origen en una única barra de hierro. También podría obtenerse a partir de la forja o unión de dos barras de acero, de muy bajo contenido en carbono y de distinta

longitud que explicaría la aparición de las escorias en el eje longitudinal de la pieza.

- ✍ Afilar el extremo o punta de la alcayata mediante un proceso de deformación por martillado y, posterior calentamiento a baja temperatura.
- ✍ Curvar 90° la barra metálica más larga para formar el otro extremo de la alcayata. Este paso se hace mediante un proceso de deformación con continuo calentamiento.

4.1.16 Martillo de Platero

4.1.16.1. CATALOGACIÓN

El martillo de platero fue hallado en la necrópolis de la villa de La Olmeda.

Se archivó dentro del grupo número 5, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas, ya que se supuso que su utilidad estaba relacionada con el oficio de orfebrería, y para ser más precisos, como yunque artesanal para forjar los metales preciosos.

La pieza es pequeña, gruesa y con dos secciones bien diferenciadas; una de ellas es corta y forma una esfera, es la zona denominada de cabeza, otra sección es larga y cuadrada, además de terminar en punta (Fig. 391).



Fig. 391: Objeto denominado Martillo de Platero.

- 376. *Fig. : Objeto denominado Alcayata.*
- 377. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias de calda.*
- 378. *Fig. : Matriz ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.*
- 379. *Fig. : Microestructura ferrítica con recristalización de grano.*
- 380. *Fig. : Matriz ferrítica de grano deformado.*
- 381. *Fig. : Matriz ferrítica con presencia de colonias perlíticas.*
- 382. *Fig. : Detalle de las colonias perlíticas.*
- 383. *Fig. : Escoria con Wustita dendrítica.*
- 384. *Fig. : Matriz ferrítica de grano deformado.*
- 385. *Fig. : Matriz ferrítica de grano deformado.*
- 386. *Fig. : Escoria con wustita globulizada.*
- 387. *Fig. : Escorias direccionadas.*
- 388. *Fig. : Matriz ferrítica de diferentes tamaños de grano.*
- 389. *Fig. : Esquema de la alcayata.*
- 390. *Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección longitudinal de la pieza.*
- 391. *Fig. : Objeto denominado Martillo de Platero.*

XLI. *Tabla : Dimensiones de la alcayata.*

Las dimensiones que presentó la pieza se pueden ver en la tabla XLII.

Tabla XLII: Dimensiones del Martillo de Platero.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Cuerpo	Esfera
Longitud	65.7	10.53
Anchura	4.9 – 15.23	14 – 8.33
Grosor	4.9 – 14.26	14 - 8

4.1.16.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La radiografía del martillo de platero muestra un volumen homogéneo macizo, sin defectos de soldadura u unión, y sin evidencia de la presencia de productos de corrosión (Fig. 392).



Fig. 392: Radiografía frontal del objeto.

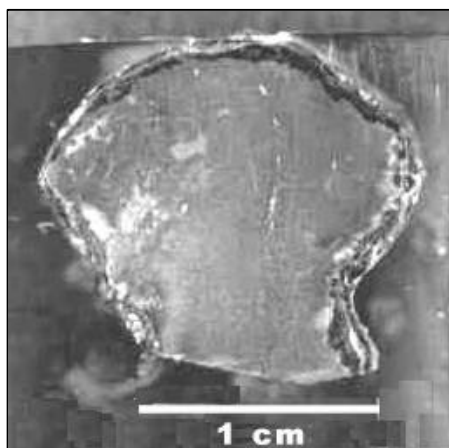


Fig. 393: Sección longitudinal en la zona de cabeza del objeto.

La caracterización microestructural de este objeto se realizó en dos secciones longitudinales del mismo, una de ellas es la zona redondeada de cabeza (Fig. 393).

La zona de cabeza presenta una microestructura de matriz ferrítica; más carburada en las zonas externas (Fig. 394), que en las internas (Fig. 395). Las zonas externas muestran zonas de grano ferrítico deformado (Fig. 396), con una orientación preferente.

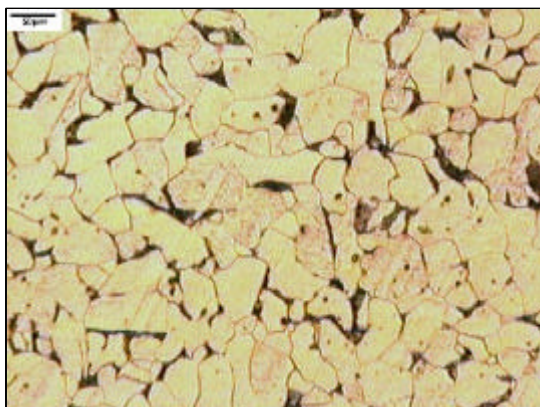


Fig. 394: Matriz ferrítica con perlita incipiente en límite de grano.

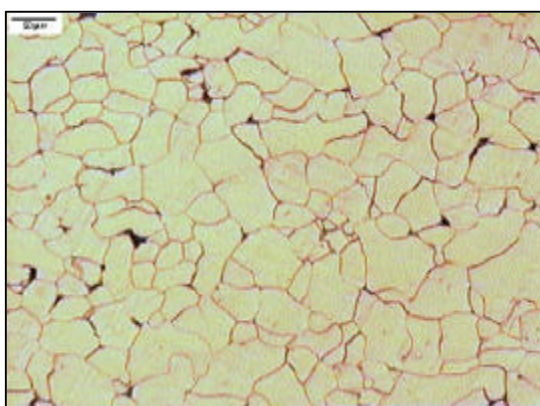


Fig. 395: Matriz ferrítica con menor contenido en carbono que la mostrada en la figura 394.

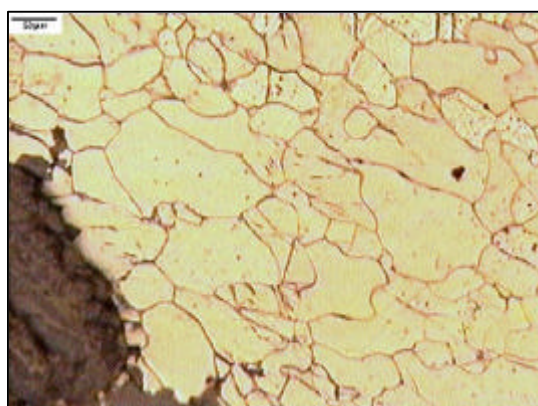


Fig. 396: Matriz ferrítica de grano deformado.

La microestructura ferrítico perlítica (Fig. 397) presenta una perlita muy fina (Fig. 398).

La sección longitudinal en la zona de punta de la alcayata, se caracteriza por presentar microestructuras muy deformadas en las zonas más externas (Figs. 399 y 400), las internas poseen un grano es más equiáxico (Fig. 401), presentando variaciones en el tamaño de grano (Fig. 402).

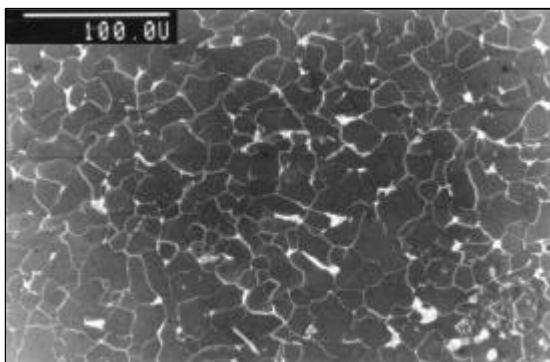


Fig. 397: Matriz ferrítico perlítica.

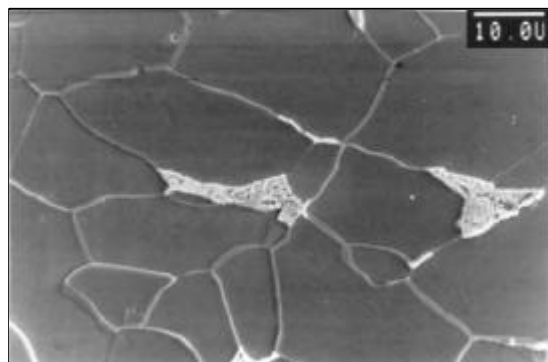


Fig. 398: Detalle de la figura 397.

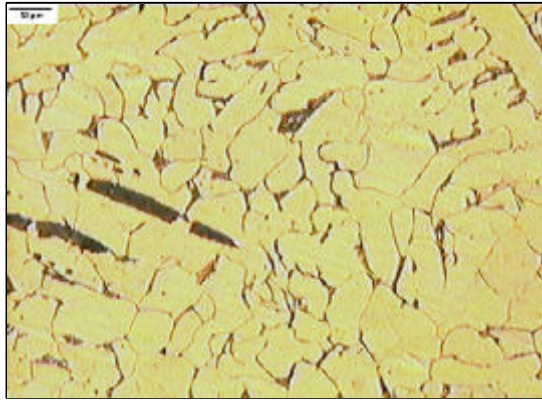


Fig. 399: Microestructura ferrítica de grano deformado.

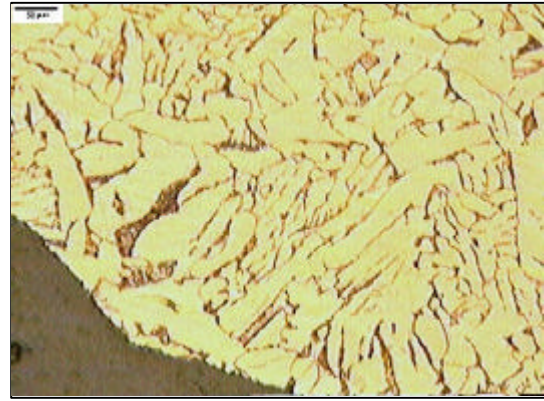


Fig. 400: Matriz ferrítica con colonias perlíticas, ambas fases con grano deformado.

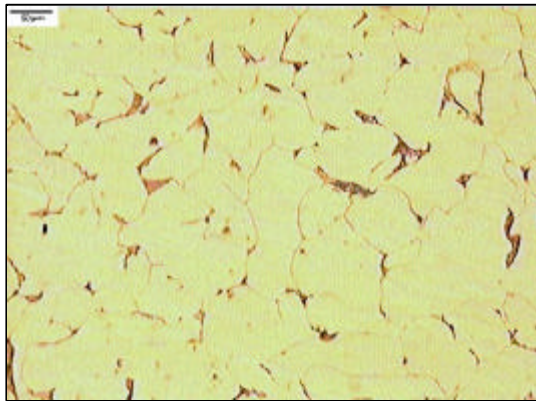


Fig. 401: Matriz ferrítica de grano poligonal.

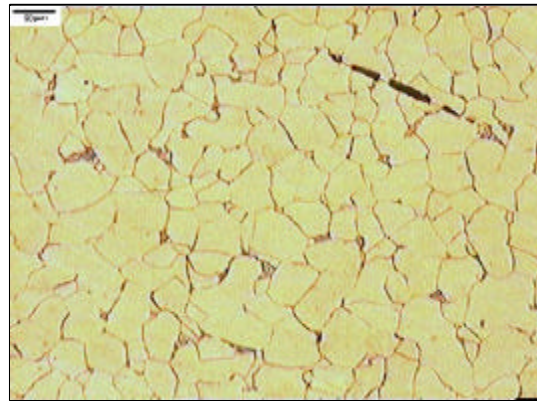


Fig. 402: Matriz ferrítica con pequeñas colonias perlíticas.

De forma aislada, existen zonas en las que la matriz es totalmente ferrítica (Fig. 403).

Las zonas con mayor contenido en carbono presentan colonias perlíticas (Fig. 404) con crecimiento irregular (Fig. 405).

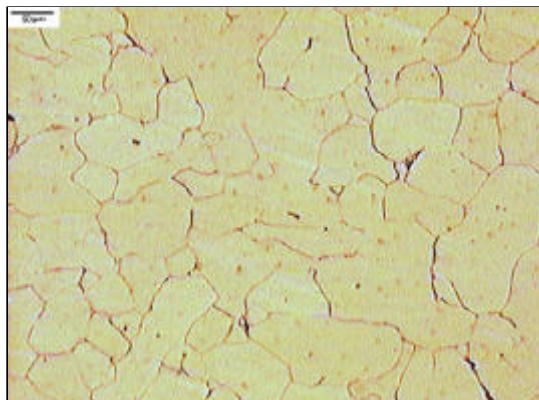


Fig. 403: Matriz ferrítica de gran tamaño de grano.

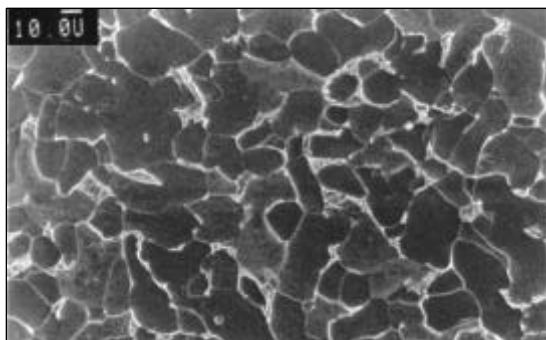


Fig. 404: Matriz ferrítico perlítica.

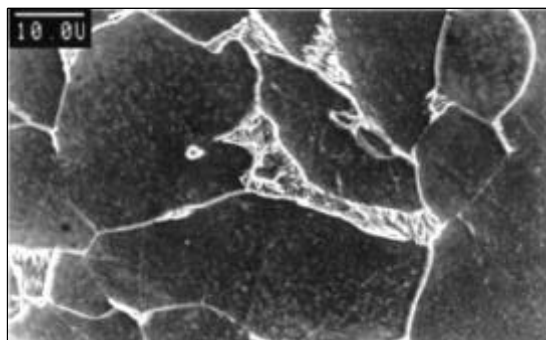


Fig. 405: Perlita irregular.

Las zonas de menor contenido en carbono (Fig. 406) presentan una perlita precipitada de forma más regular asociada a una recristalización y poligonización de la ferrita (Fig. 407).

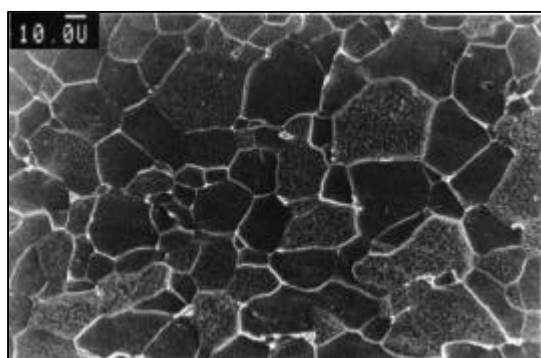


Fig. 406: Matriz ferrítica.

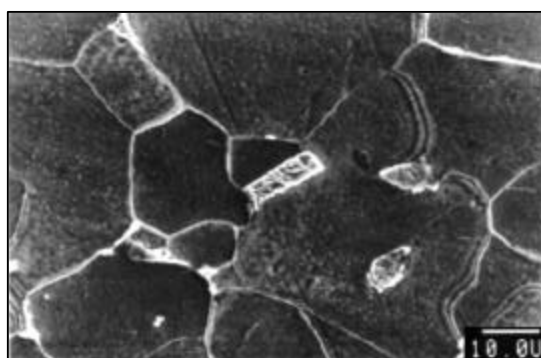


Fig. 407: Perlita Regular, ferrita recristalizada.

4.1.16.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers obtenidos en los extremos de este objeto (Fig. 408), se corresponden y vienen asociadas a las microestructuras observadas, y comentadas en el apartado anterior.

En la sección longitudinal de cabeza se presentan valores medios de 92 ± 5 HV. Mientras que en la sección de punta se presentan valores medios de 130 ± 30 HV. A la vista de estos datos ya, se aprecia el incremento del valor de dureza en la zona de punta, hecho que se corrobora con el estudio longitudinal de los valores de dureza de la pieza (Fig. 409).

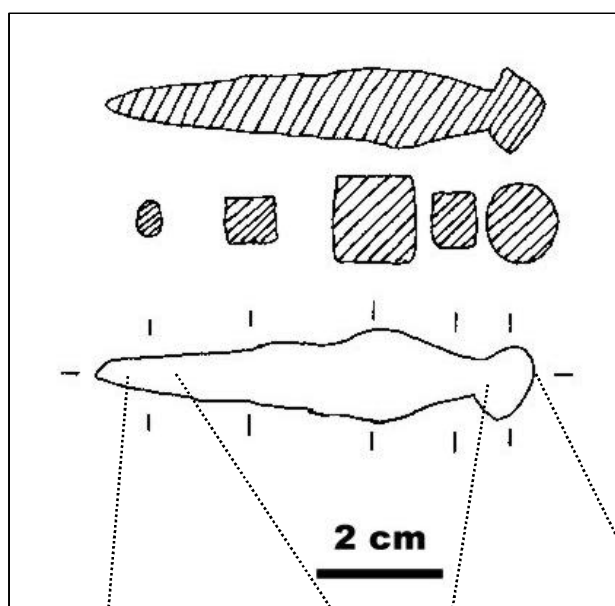


Fig. 408: Esquema del objeto.

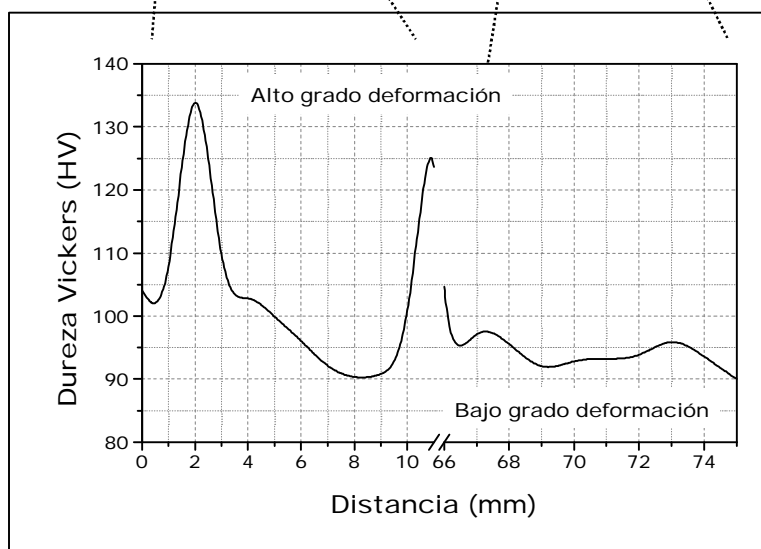


Fig. 409: Perfil de dureza Vickers de la sección longitudinal del objeto esquematizado en la figura 408.

4.1.16.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico seguido en a fabricación del martillo de platero consistiría en:

- ✂ Forjar una barra de sección cuadrada con un acero de bajo contenido en carbono.
- ✂ Conformar la cabeza del martillo mediante remachado.
- ✂ Recalcar la zona central.
- ✂ Afilar la punta de la pieza.

- 392. *Fig. : Radiografía frontal del objeto.*
- 393. *Fig. : Sección transversal en la zona de cabeza del objeto.*
- 394. *Fig. : Matriz ferrítica con perlita incipiente en límite de grano.*
- 395. *Fig. : Matriz ferrítica con menor contenido en carbono que la figura .*
- 396. *Fig. : Matriz ferrítica de grano deformado.*
- 397. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica con precipitados intragranulares.*
- 398. *Fig. : Detalle de matriz de la figura .*
- 399. *Fig. : Microestructura ferrítica de grano deformado.*
- 400. *Fig. : Matriz ferrítica con colonias perlíticas, ambas fases con grano deformado.*
- 401. *Fig. : Matriz ferrítica de grano poligonal.*
- 402. *Fig. : Matriz ferrítica de pequeño tamaño de grano.*
- 403. *Fig. : Matriz ferrítica de gran tamaño de grano.*
- 404. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 405. *Fig. : Perlita irregular.*
- 406. *Fig. : Matriz ferrítica.*
- 407. *Fig. : Perlita Regular.*
- 408. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 409. *Fig. : Perfil de dureza Vickers de la sección longitudinal del objeto esquematizado en figura .*

XLII. *Tabla : Dimensiones del Martillo de Platero.*

4.1.17 Llave

4.1.17.1. CATALOGACIÓN

Esta pieza fue encontrada en la necrópolis de la villa romana de "La Olmeda" (Fig. 410).

Debido a su utilidad en la vida de las personas que habitaron esta villa de época romana, se reconoció a esta pieza como perteneciente al grupo número 2, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de utillaje doméstico.

Es un objeto plano, de sección rectangular, largo y que posee 6 dientes, uno de los cuales es más corto (supuestamente donde se encontraría el picaporte ?112?). Los dientes tienen aproximadamente la misma longitud, sección rectangular y una separación entre ellos similar.

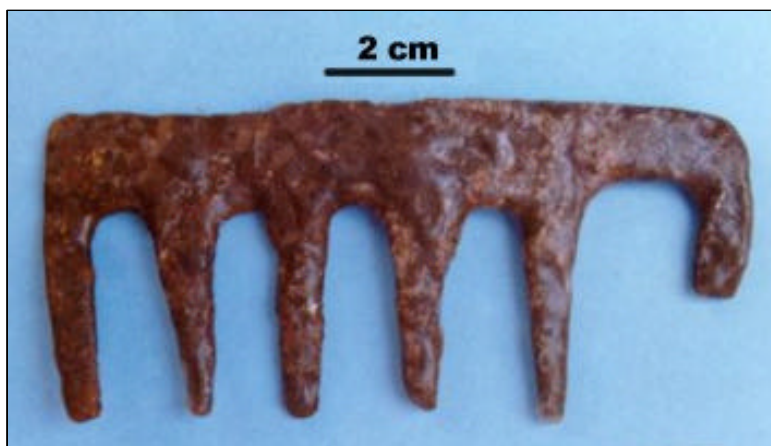


Fig. 410: Objeto denominado Llave.

Las dimensiones que presenta esta pieza, así como los dientes que la constituyen, se muestran en la tabla XLIII.

Tabla XLIII: Dimensiones de la llave.

DIMENSIONES		MEDIDAS (mm)
Pieza	Longitud	110.46
	Longitud	47.95
Dientes	Separación	10.81- 18.5
	Grosor	3.4- 5.01

4.1.17.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de la llave ha sido realizada mediante el estudio de la sección transversal de uno de sus dientes. Esta sección presenta dos microestructuras con distinto contenido en carbono; una de ellas es de matriz ferrítica

de bajo contenido en carbono con grano en forma equiaxial (Fig. 411), y la otra es de mayor contenido en carbono presentando una matriz ferrítico perlítica (Fig. 412).

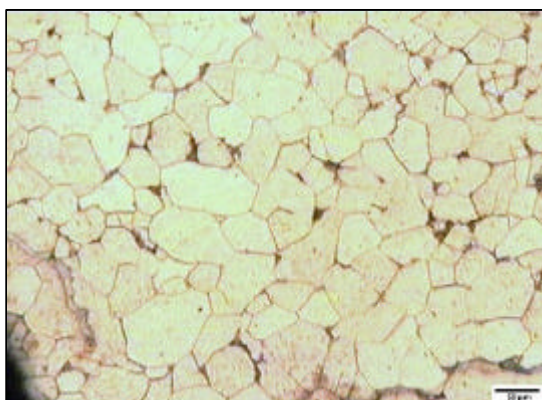


Fig. 411: Matriz ferrítica de grano equiaxial.

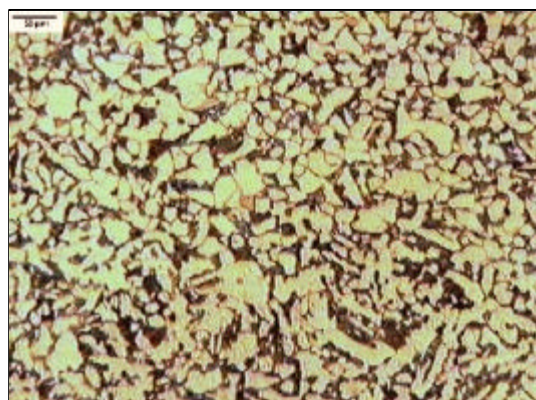


Fig. 412: Matriz ferrítico perlítica.

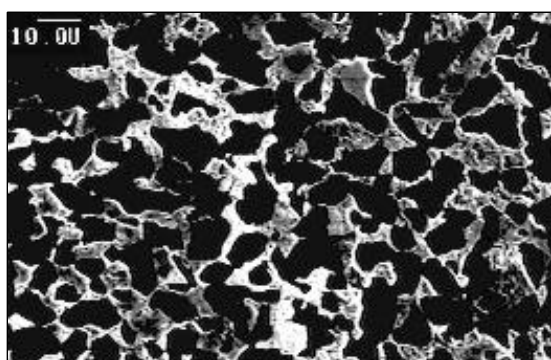


Fig. 413: Microestructura de acero hipoeutectoide.

Existe una cara más rica en carbono que la otra, con una microestructura típica hipoeutectoide (Fig. 413). El contenido en carbono, en las zonas más ricas en este elemento, es de aproximadamente un 0.35%. En esta microestructura, la perlita se presenta muy fina (Fig. 414), y homogénea (Fig. 415).

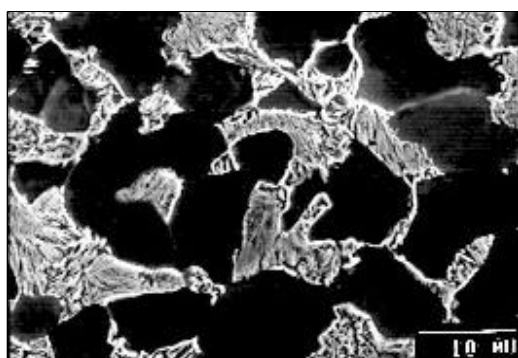


Fig. 414: Perlita fina.

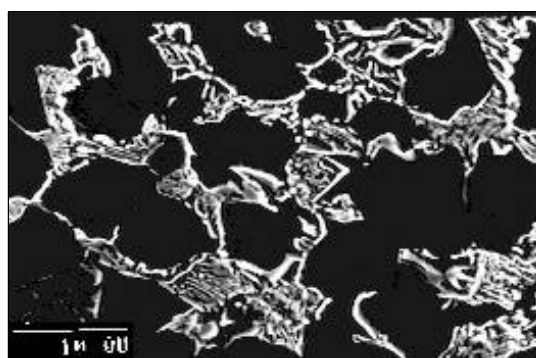


Fig. 415: Microestructura ferrítico perlítica muy homogénea.

4.1.17.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza Vickers realizadas en la llave han sido obtenidos a lo largo de uno de los dientes de llave, sección AB, así como en la sección transversal o sección CD (Fig. 416) del mismo.

Con el perfil de dureza obtenido a lo largo de la sección AB, se comprueba un aumento del valor de dureza al acercarnos a la zona de punta del diente (Fig. 417). Este hecho, es explicado en función del grado de deformación al que han sido sometidos estos dientes en su proceso de fabricación.

En una sección transversal del diente, sección CD, (Fig. 418) el perfil de durezas indica la presencia de dos microestructuras claramente diferenciadas. Esto está de acuerdo con las microestructuras observadas mediante microscopía óptica y electrónica de barrido, donde las zonas ferríticas presentarían unos valores de dureza de aproximadamente 117 HV, y las de mayor contenido en carbono presentarían unos valores de 141 HV.

4.1.17.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico seguido en la fabricación de la llave consistiría en;

- ✍ Laminar dos barras de hierro, de distinto contenido en carbono, mediante martillado sobre el yunque.
- ✍ Cortar, con ayuda de una gubia y un martillo, cada uno de los dientes.
- ✍ Conformar cada uno de los dientes.

Existe la posibilidad de una etapa adicional en el supuesto de que se partiera de una única lámina de hierro:

- ✍ De bajo contenido en carbono, sometiendo a un proceso de carburación una de las caras de la llave, intencionadamente o no.
- ✍ De medio contenido en carbono, decarburándose una de las caras de la llave.

- 410. *Fig. : Objeto denominado Llave.*
- 411. *Fig. : Matriz ferrítica de grano equiaxial.*
- 412. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 413. *Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide.*
- 414. *Fig. : Perlita fina.*
- 415. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica muy homogénea.*
- 416. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 417. *Fig. : Perfil de durezas Vickers del objeto en la sección CD.*
- 418. *Fig. : Perfil de durezas Vickers del objeto en la sección AB.*

XLIII. Tabla: Dimensiones de la llave.

- 112. FERNÁNDEZ IBÁÑEZ, C.: "A chave romana da cidade de Ourense". Excmo. Concello de Ourense. Concellería de Cultura. Ourense. (1994).

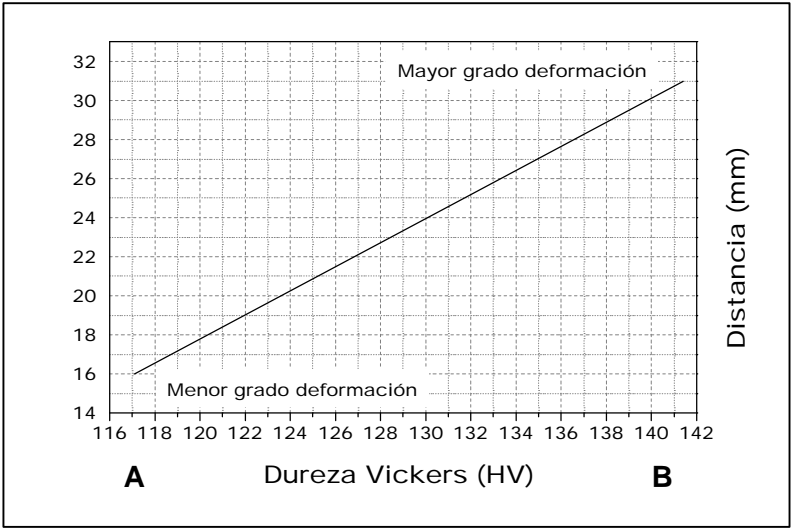


Fig. 417: Perfil de durezas Vickers del objeto en la sección AB.

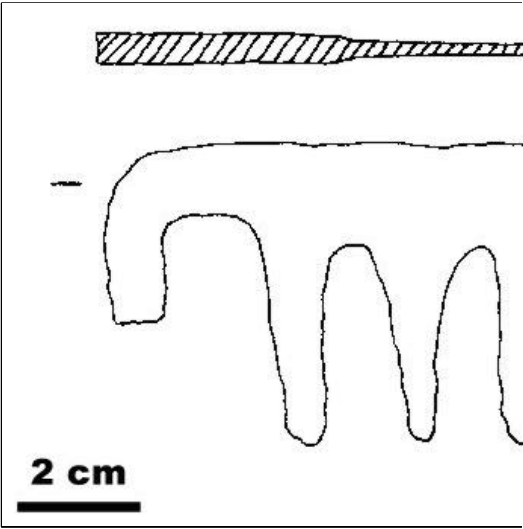
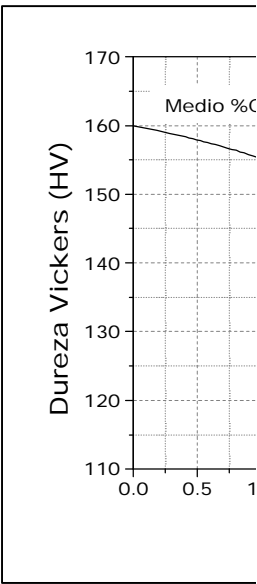


Fig. 416: Esquema del objeto.

Fig. 418: Perfil de durezas Vickers del objeto en la sección CD.



4.1.18 Gancho

4.1.18.1. CATALOGACIÓN

El gancho (Fig. 419) fue encontrado en la necrópolis de la villa romana de "La Olmeda".

Se pensó en la utilidad de esta pieza en el hogar, y por este motivo se reconoció dentro del grupo número 2, del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de utillaje doméstico. También se pensó en la utilidad que podría tener para determinadas personas que habitaron esta villa, como comerciantes, ganaderos, agricultores y, se clasificó a esta pieza, dentro del grupo número 5 o grupo de herramientas, del mismo catálogo.

La morfología que muestran los extremos de este objeto son curvados, pero uno de ellos termina en punta, mientras que el otro presenta sección rectangular.



Fig. 419: Objeto denominado Gancho.

Las dimensiones que presenta esta pieza se muestran en la tabla XLIV.

Tabla XLIV: Dimensiones del gancho.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	101
Sección	3.76- 6.01
Diámetro interno	16.31

Este tipo de objetos se encuentran en yacimientos, donde se les asigna una utilidad de sustentar recipientes sobre el fuego [16].

4.1.18.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural del gancho se ha realizado en la zona más curvada de la pieza. Esta presenta microestructuras de bajo contenido en carbono (Fig. 420), con ferrita deformada ocasionalmente (Fig. 421).

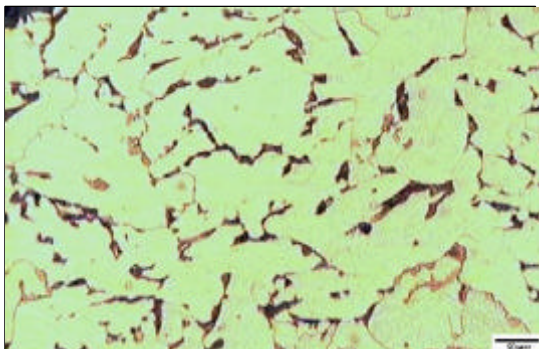


Fig. 420: Microestructura de acero hipoeutectoide.

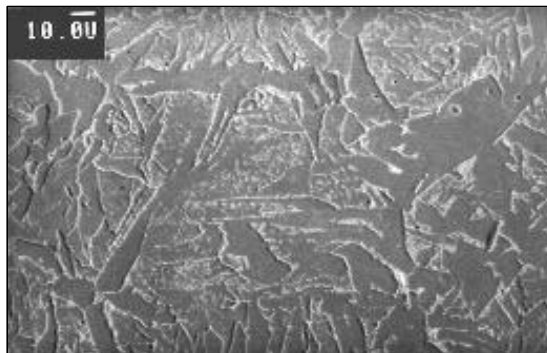


Fig. 421: Matriz ferrítica deformada, no recrystalizada.

También es posible encontrar zonas con microestructuras de contenido en carbono ligeramente superior a las estudiadas (Fig. 422). En estas zonas aparece ferrita con colonias perlíticas (Fig. 423), aunque en otras zonas la cementita en límite de grano ferrítico predomina frente a la perlita (Fig. 424).

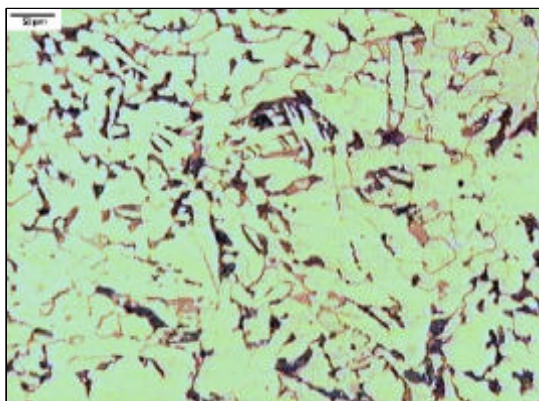


Fig. 422: Microestructura con mayor contenido en carbono que la de la figura 421.

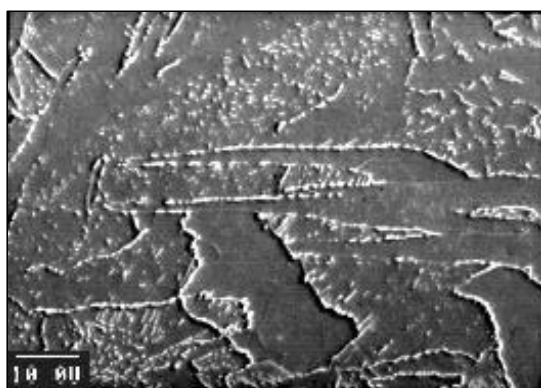


Fig. 423: Ferrita con colonias perlíticas.

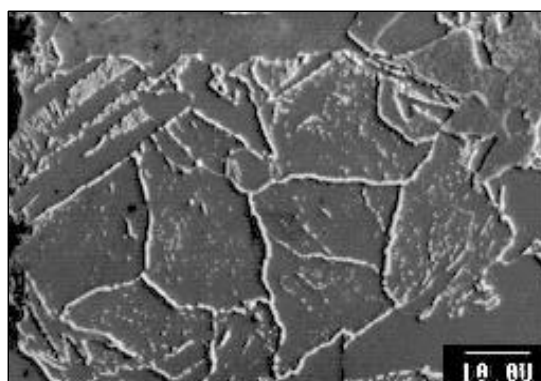


Fig. 424: Cementita en límite de grano ferrítico sin colonias perlíticas.

Totalmente aisladas, y de manera no representativa de la pieza, han sido observadas zonas de un contenido en carbono superior (Fig. 425), en donde aparece una microestructura típica de acero hipoeutectoide, con ferrita Widmanstätten.

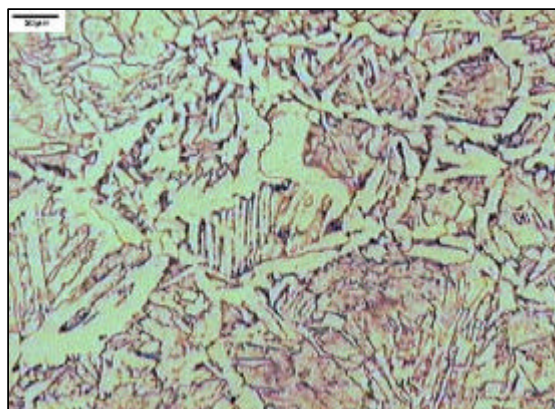


Fig. 425: Ferrita con estructura Widmanstätten.

Las escorias, paralelas entre sí, son numerosas y adoptan la forma curvada de la pieza (Fig. 426). Probablemente proceden de la pella original y no han sido eliminadas durante el proceso de batida. En su interior, se aprecia wustita con estructura nodular (Fig. 427).

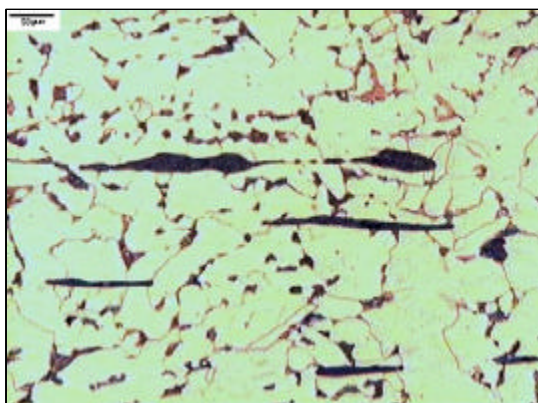


Fig. 426: Escorias direccionadas y paralelas entre sí.



Fig. 427: Detalle de escoria compuesta de wustita.

4.1.18.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

En este gancho los valores de dureza Vickers obtenidos (Fig. 428) son muy similares, ya que se corresponden a una microestructura muy homogénea. Oscilan entre 110-120 HV.

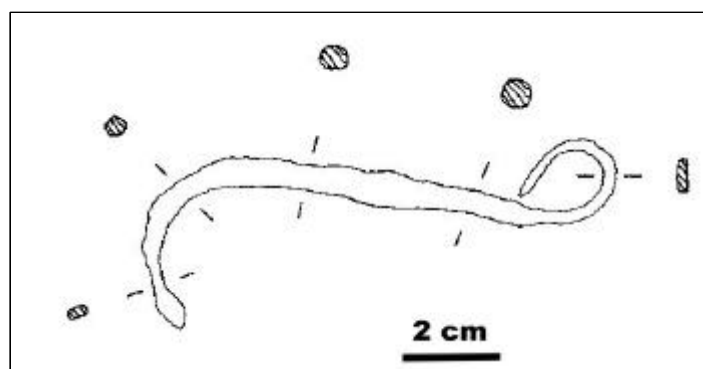


Fig. 428: Esquema del Gancho.

4.1.18.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico seguido en la fabricación del gancho consistiría en:

- ✍ Forjar una barrita de un acero de muy bajo contenido en carbono en su totalidad. Aunque aparecen zonas con mayor contenido en carbono, estas son debidas a procesos de carburación originadas bien durante el proceso de forja, bien durante el proceso de batida.
- ✍ Curvar uno de los extremos sobre un madriño, aplanándolo.
- ✍ Afilar el otro extremo y curvarlo sobre la bigornia del yunque.

- 419. Fig. : Objeto denominado Gancho.
- 420. Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide.
- 421. Fig. : Matriz ferrítica deformada, no recristalizada.
- 422. Fig. : Microestructura con mayor contenido en carbono que la de la figura
- 423. Fig. : Ferrita intergranular con colonias perlíticas.
- 424. Fig. : Cementita en límite de grano ferrítico sin colonias perlíticas.
- 425. Fig. : Ferrita con estructura Widdmanstätten.
- 426. Fig. : Escorias direccionadas y paralelas entre sí.
- 427. Fig. : Detalle de escoria compuesta de wustita, caracterizada morfológicamente.
- 428. Fig. : Esquema del Gancho.

XLIV. Tabla : Dimensiones del gancho.

16. MARTÍN COSTEA, A. MADROÑERO DE LA CAL, V. LÓPEZ SERRANO, "Arqueometalurgia del poblado celtibérico de "Los Castellares", de Herrera de los Navarros (Zaragoza)", *Kalathos*, 11-12, (1991/92), pp: 233- 266.

4.1.19 Cáncamo

4.1.19.1. CATALOGACIÓN

La pieza denominada cáncamo fue encontrada en la necrópolis de la villa de "La Olmeda".

Este objeto se reconoció dentro del grupo número 2, del catalogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de utillaje doméstico, ya que se supuso que su utilidad estaba relacionada con el uso cotidiano de las personas que habitaron esta villa, tanto en los hogares, como en las cuadras y/o corrales.

Se trata de una pieza larga y de sección cuadrada (Fig. 429). Uno de los extremos termina en punta mientras que el otro extremo tiene forma de lagrima con sección cuadrada y con un orificio interior con la misma forma. Las dimensiones, tanto de la pieza como de la zona curvada, se resumen en la tabla XLV.



Fig. 429: Objeto denominado Cáncamo.

Tabla XLV: Dimensiones del Cáncamo.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)	
	Pieza	Zona Curvada
Longitud	170	32.18
Anchura	12.9	21.69
Grosor	9.28	7.54

4.1.19.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La radiografía de este objeto indica una masa metálica homogénea, sin productos de corrosión (Fig. 430). Sin embargo, se muestra el pliegue de soldadura o de unión, entre la punta afilada y la zona curvada. Este pliegue aparece como consecuencia del proceso de fabricación.

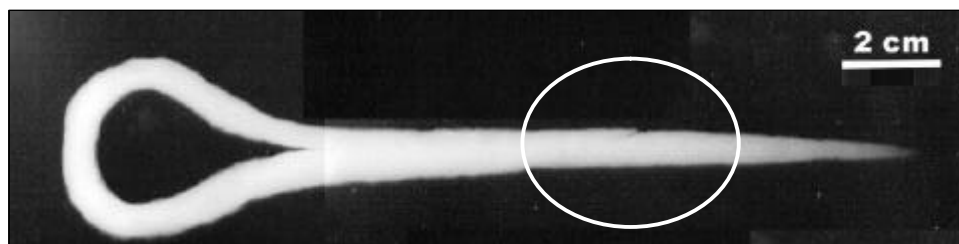


Fig. 430: Radiografía longitudinal del objeto.

La caracterización microestructural mediante microscopía de este objeto se realizó en la sección longitudinal de la zona de punta, y en la sección, también longitudinal, de la zona de soldadura.

En la sección de punta (Fig. 431) las zonas externas aparecen constituidas por masas microestructurales ferríticas con cementita en límite de grano (Figs. 432 y 433). La ferrita incrementa su tamaño de grano, a medida que nos aproximamos a la punta del objeto (Fig. 434).

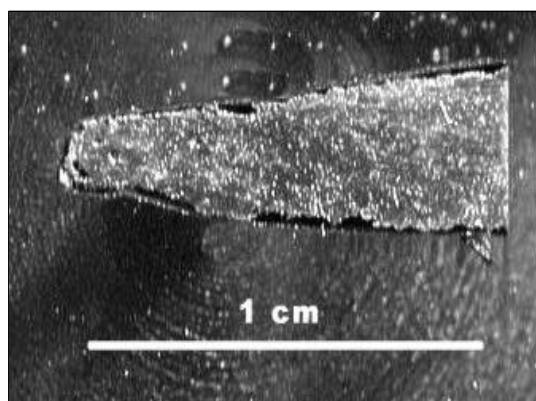


Fig. 431: Macrografía de la zona de punta del objeto.

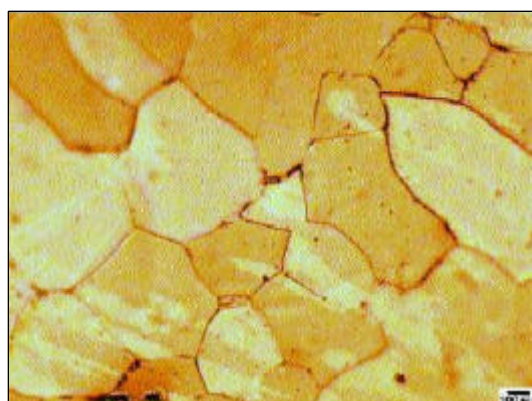


Fig. 432: Microestructura de acero ferrítico.

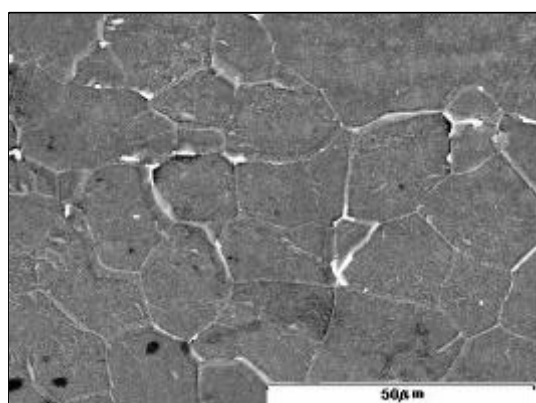


Fig. 433: Matriz ferrítica con cementita en límite de grano.

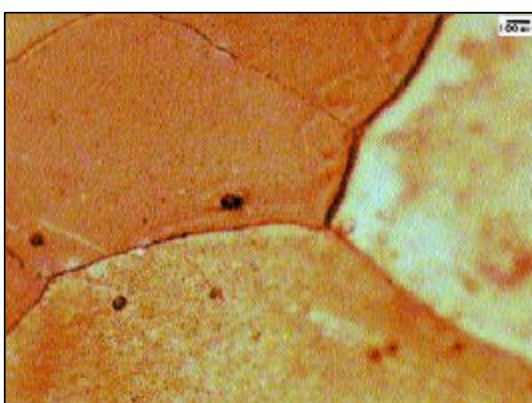


Fig. 434: Ferrita de mayor tamaño de grano.

En la zona central de la sección se aprecia una microestructura superpuesta (Fig. 435) consecuencia de un fenómeno de recrystalización de la microestructura (Fig. 436).

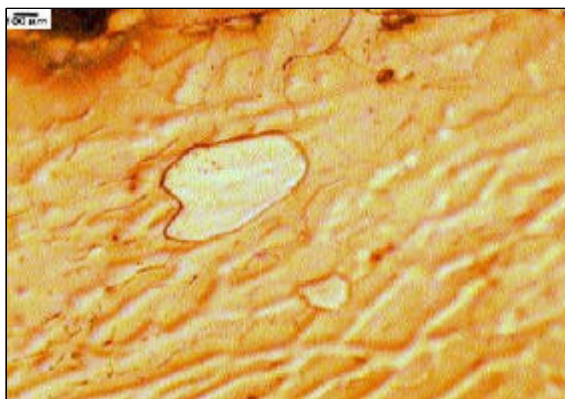


Fig. 435: Microestructuras superpuestas.

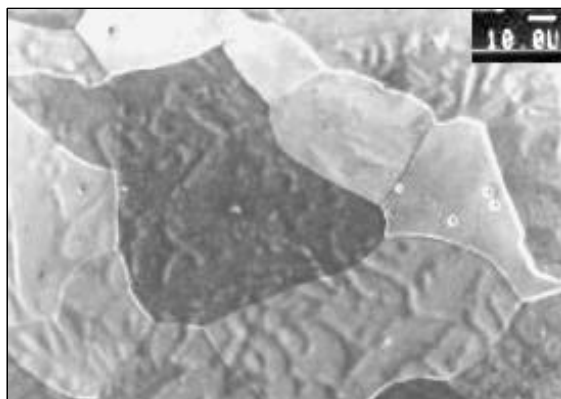


Fig. 436: Microestructuras recrystalizadas.

Las escorias observadas en esta sección de punta, se muestran longitudinalmente dispuestas (Fig. 437) y como límite o frontera entre láminas microestructurales diferentes (Fig. 438) que se van homogeneizando (Fig. 439) hasta llegar a la zona de punta (Fig. 440), la cual presenta una microestructura ferrítica recrystalizada.

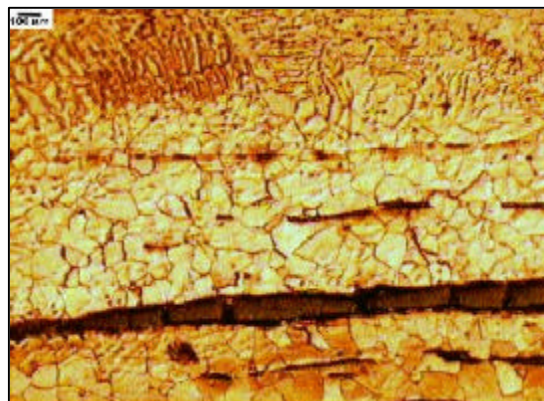


Fig. 437: Escorias longitudinalmente dispuestas.

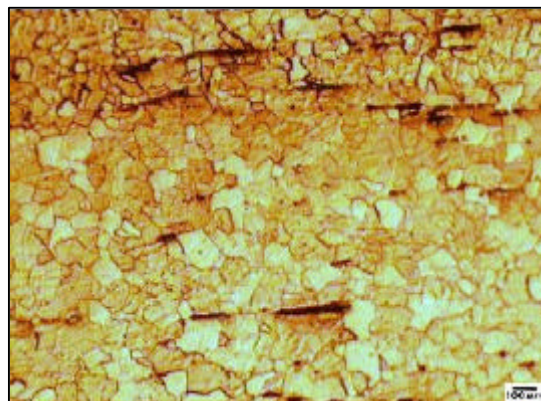


Fig. 438: Disminución de escorias en función de la homogeneización microestructural.

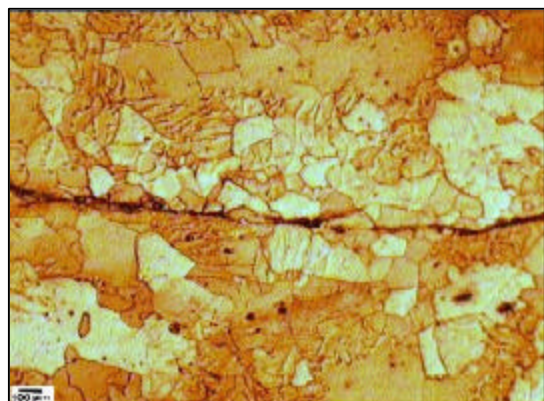


Fig. 439: Microestructura homogénea.

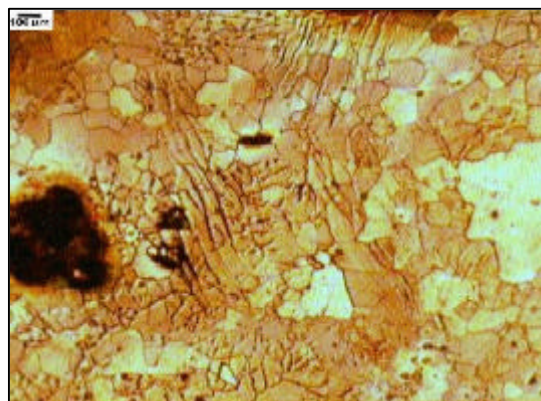


Fig. 440: Microestructura ferrítica recrystalizada en la zona de punta.

En este tipo de microestructuras las escorias, se presentan ocasionalmente, como puntos preferentes de nucleación y crecimiento de la cementita (Fig. 441). En el interior de la escoria se observa wustita dendrítica.

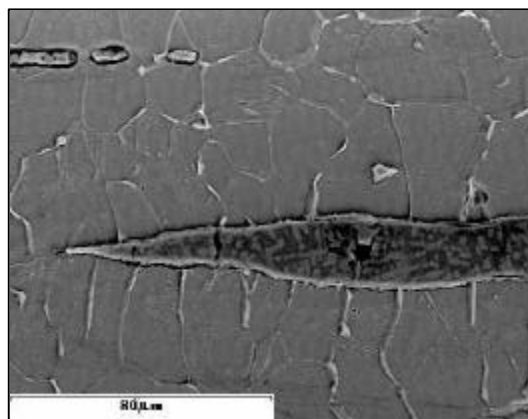


Fig. 441: Escoria centro de nucleación y crecimiento de la cementita.

La sección longitudinal de la zona de soldadura (Fig. 442), marcada en la figura 430, es prácticamente de matriz ferrítica (Fig. 443), tiene un tamaño de grano heterogéneo (Fig. 444), y las escorias están longitudinalmente dispuestas con wustita como componente (Fig. 445).

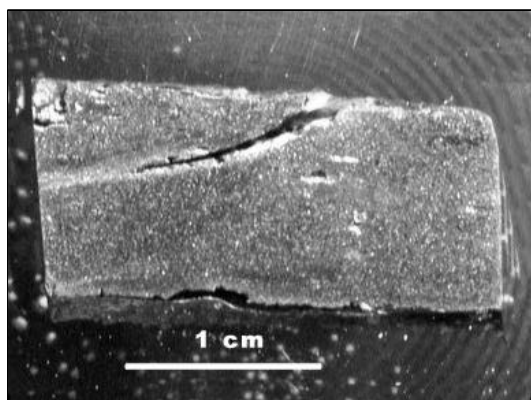


Fig. 442: Macrografía de la zona de soldadura de la pieza.

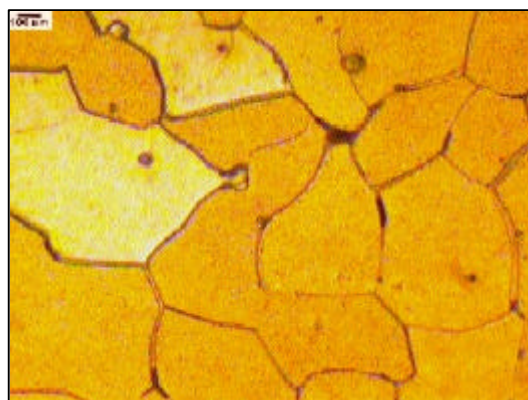


Fig. 443: Microestructura ferrítica.

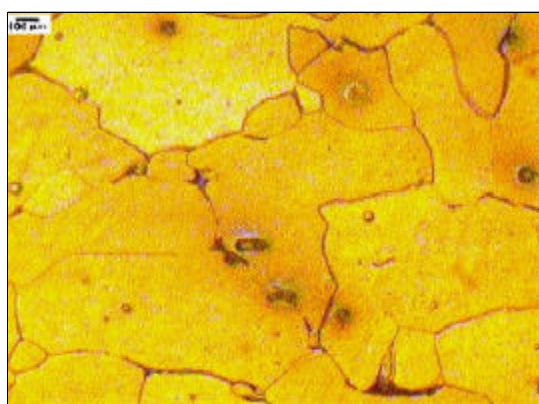


Fig. 444: Tamaño de grano ferrítico heterogéneo en zona de soldadura.



Fig. 445: Escoria con wustita nodular.

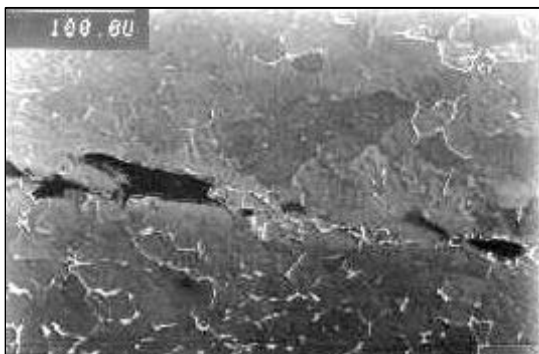


Fig. 446: Zona de soldadura con dos microestructuras claramente diferenciadas.

La zona de soldadura separa microestructuras diferenciadas por su contenido en carbono (Fig. 446); una microestructura ferrítica, común a la presentada en todo el objeto (Figs. 447 y 448), y otra ferrítico perlítica (Fig. 449), microestructura mayoritaria del apéndice soldado. Las zonas externas de este apéndice presenta de nuevo una microestructura ferrítica (Fig. 450).

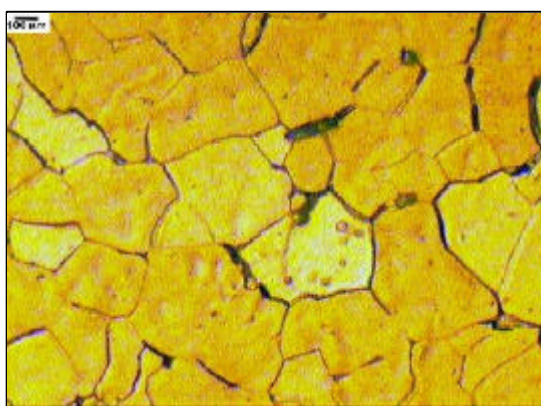


Fig. 447: Matriz ferrítica.

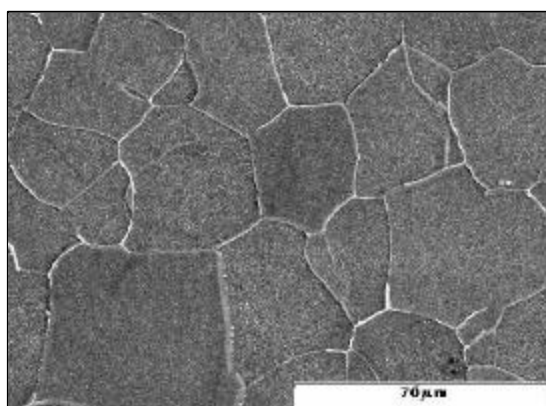


Fig. 448: Microestructura ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.

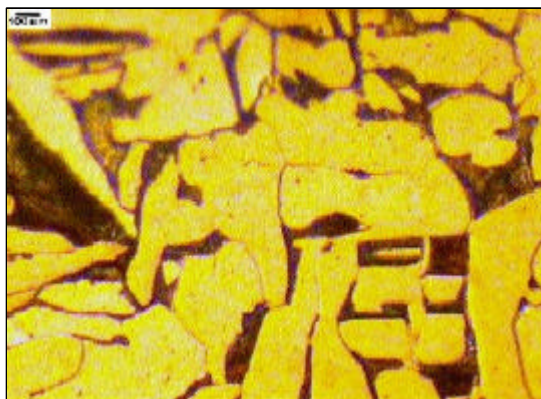


Fig. 449: Microestructura con un ligero incremento del contenido en carbono.

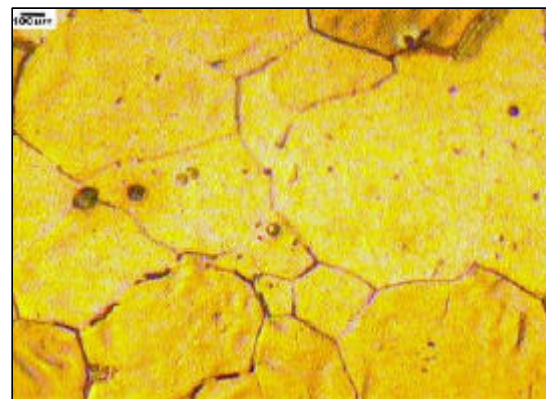


Fig. 450: Matriz ferrítica de mayor tamaño de grano.

Las escorias presentes en la zona de soldadura (Fig. 451) están longitudinalmente dispuestas (Fig. 452) y quedan caracterizadas como dendritas de wustita (FeO) sobre una matriz vítrea de fayalita (Figs. 453 y 454).

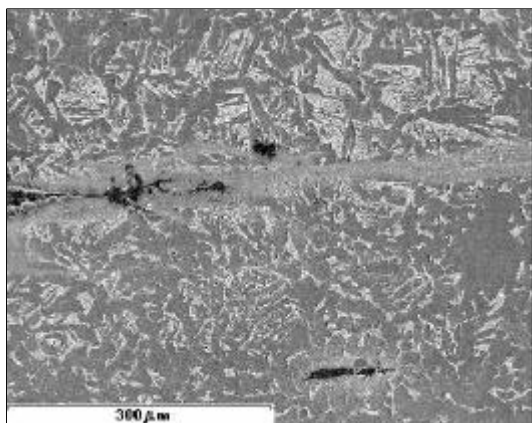


Fig. 451: Zona parcialmente soldada.

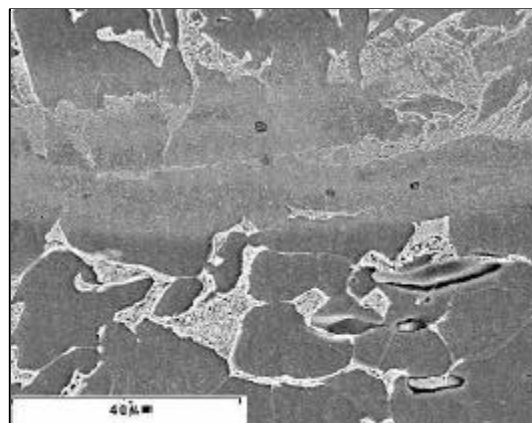


Fig. 452: Detalle de la zona de soldadura.

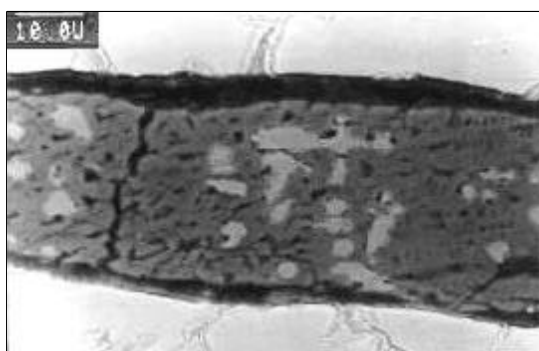


Fig. 453: Escoria en la zona de soldadura.

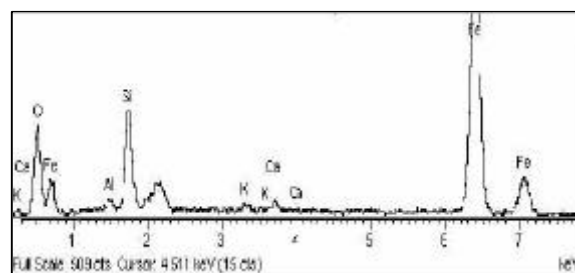


Fig. 454: Identificación EDS de los componentes de la escoria.

4.1.19.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica de esta pieza mediante análisis de dureza Vickers ha sido realizado tanto en la sección longitudinal, como en una transversal de la zona de soldadura del objeto (Fig. 455).

En la sección transversal, y zona de soldadura, zona denominada AB, se observa un máximo del valor de dureza, que corresponde microestructuralmente a las zonas más carburadas del acero, mientras que los valores mínimos de dureza se corresponden con las microestructuras ferríticas (Fig. 456).

En la sección longitudinal, denominada CD, la tendencia general del perfil de dureza, es la de disminuir los valores de dureza al alejarnos de la punta, zona que presenta los valores máximos (Fig. 457).

4.1.19.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico utilizado en la fabricación del cáncamo consistiría en:

- ✍ Forjar una barra de sección cuadrada de acero de bajo contenido en carbono a partir del tocho.
- ✍ Curvar uno de sus extremos utilizando como herramienta auxiliar un mandrino.
- ✍ Forjar la zona de unión de la pieza para poder soldarla.
- ✍ Afilar el otro extremo de la pieza.

4.1.20 Buril

4.1.20.1. CATALOGACIÓN

El buril (Fig. 458), encontrado en la necrópolis de la villa, tiene un uso claramente definido en el trabajado de materiales como pieles, maderas, metales fácilmente deformables. Por este motivo, se clasificó en el grupo número 5 del catálogo de identificación de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas de oficios.



Fig. 458: Objeto denominado Buril.

Se trata de una pieza alargada, de sección rectangular y acabada en forma de punta larga, donde la parte cilíndrica es más corta que la fracción con sección rectangular.

Las dimensiones de esta pieza se presentan en la tabla XLVI.

Tabla XLVI: Dimensiones del Buril.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)		
	Longitud	Anchura	Grosor
Total	215.74	9.67 – 11.4	7.21
Punta	80.54	4	3.17

429. Fig. : Objeto denominado Cáncamo.
430. Fig. : Radiografía longitudinal del objeto.
431. Fig. : Macrografía de la zona de punta del objeto.
432. Fig. : Microestructura de acero ferrítico.
433. Fig. : Matriz ferrítica con cementita en límite de grano.
434. Fig. : Ferrita de mayor tamaño de grano.
435. Fig. : Microestructuras superpuestas.
436. Fig. : Microestructuras recristalizadas.
437. Fig. : Escorias longitudinalmente dispuestas.
438. Fig. : Disminución de escorias en función de la homogeneización de la microestructura.
439. Fig. : Microestructura homogénea.
440. Fig. : Microestructura ferrítica recristalizada en la zona de punta.
441. Fig. : Escoria centro de nucleación y crecimiento de la cementita.
442. Fig. : Macrografía de la zona de soldadura de la pieza.
443. Fig. : Microestructura ferrítica.
444. Fig. : Aumento del tamaño de grano ferrítico.
445. Fig. : Escoria con wustita caracterizada morfológicamente.
446. Fig. : Escoria de soldadura.
447. Fig. : Matriz ferrítica.
448. Fig. : Microestructura ferrítica con cementita precipitada en límite de grano.
449. Fig. : Microestructura con un ligero incremento del contenido en carbono.
450. Fig. : Matriz ferrítica de mayor tamaño de grano.
451. Fig. : Zona parcialmente soldada.
452. Fig. : Detalle de la zona de soldadura.
453. Fig. : Escoria en la zona de soldadura.
454. Fig. : Identificación de los componentes de la escoria.
455. Fig. : Esquema del objeto.
456. Fig. : Perfil de durezas de la sección transversal de la pieza.
457. Fig. : Perfil de durezas de la sección longitudinal de la pieza.
458. Fig. : Objeto denominado Buril.

XLV. Tabla : Dimensiones del Cáncamo.

XLVI. Tabla : Dimensiones del Buril.

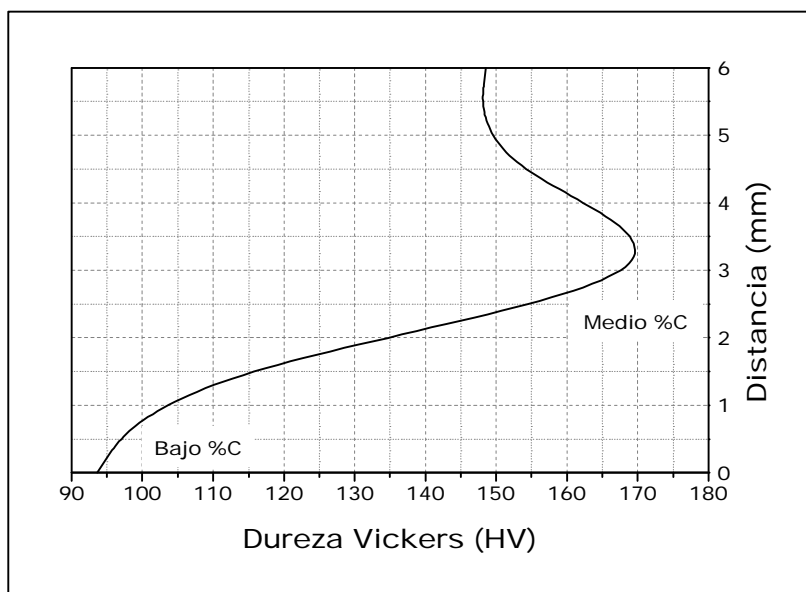


Fig. 456: Perfil de durezas de la sección AB de la figura 455.

Fig. 455: Esquema del objeto.

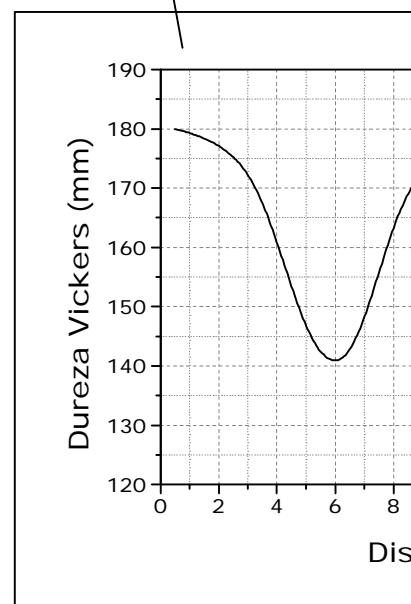
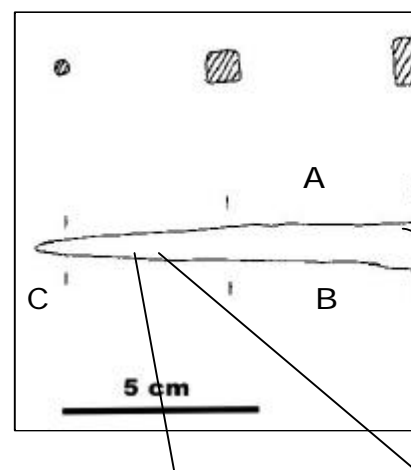


Fig. 457: Perfil de durezas de la sección longitudinal CD de la figura 455.

Los buriles o punzones están habitualmente presentes entre los hallazgos de los yacimientos arqueológicos. Algunos de estos ejemplares terminan en punta por ambos lados, y otros presentan escotaduras a modo de muescas para facilitar el enmangue. Lo más común, para incorporarlo al mango, es el ensanchamiento en su mitad, lo que probablemente, junto a resinas naturales, establecía su fijación.

Hay que tener en cuenta las diferentes variedades que se presentan atendiendo a la sección de estos ejemplares, que puede ser simple o doble; cuadrada en la mitad y cilíndrica en la punta de uso, o cilíndrica en ambos casos.

Los punzones de sección cuadrada son mucho más indicados para trabajos de presión rotatoria, pues presentan, enmangados, gran resistencia en esa dirección, los de sección cilíndrica se utilizarían en sentido longitudinal de perforación – percusión [7].

4.1.20.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural, mediante microscopía de este objeto se realizó en su sección longitudinal tanto en la zona de punta como en la zona de martillado.

En la zona de martillado se observa una microestructura con cementita reticular en límite de grano (Figs. 459 y 460) que coexiste con cementita globulizada (Figs. 461 y 462) constituyente de la perlita, producto de un recocido incompleto (Fig. 463).

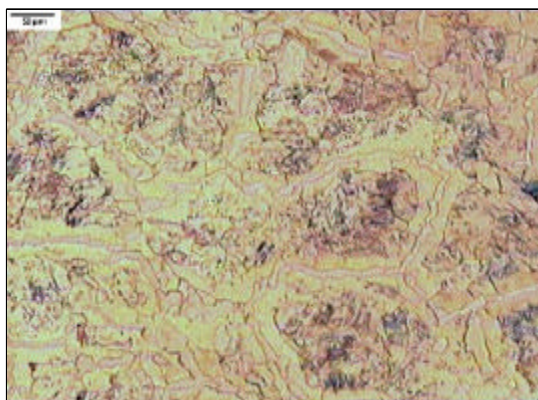


Fig. 459: Cementita reticular sobre matriz ferrítica.

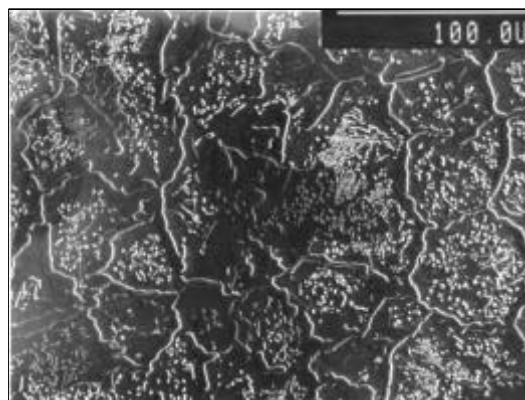


Fig. 460: Cementita reticular con colonias de perlita precipitadas intragranularmente.

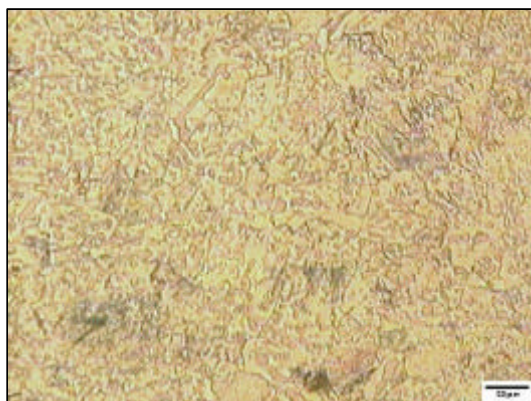


Fig. 461: Cementita parcialmente globulizada sobre matriz ferrítica.

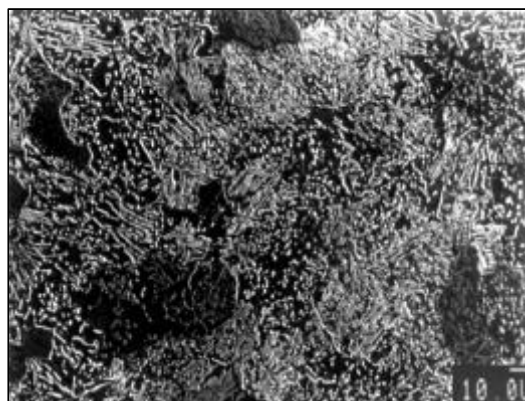


Fig. 462: Perlita globulizada.

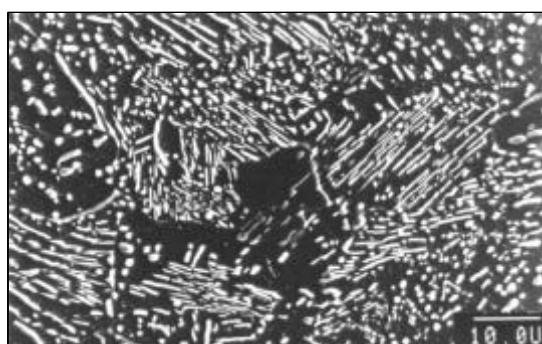


Fig. 463: Detalle de la perlita parcialmente globulizada.

En la zona de disminución de sección (Fig. 464) se aprecian aumentos en el contenido de carbono, con perlita y cementita reticular (Figs. 465 y 466). Se observa la presencia de microestructuras con alto contenido en cementita globulizada (Fig. 467).

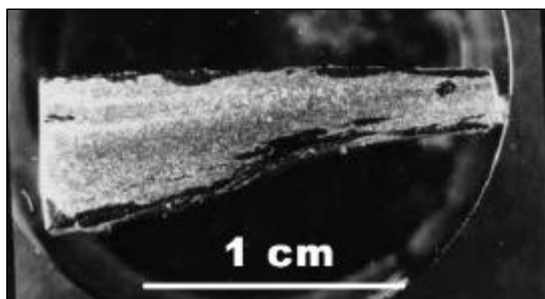


Fig. 464: Macrografía del fragmento del objeto con disminución de sección.

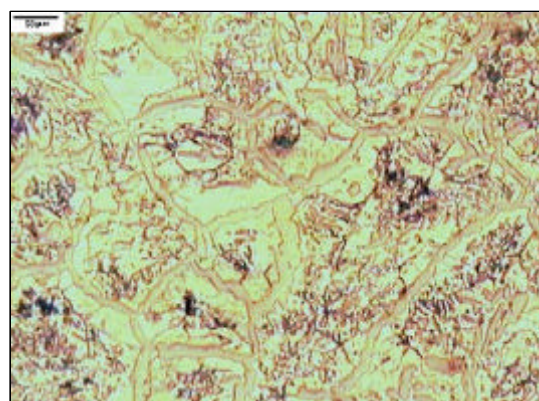


Fig. 465: Cementita reticular con perlita intragranular.



Fig. 466: Cementita reticular y escorias.

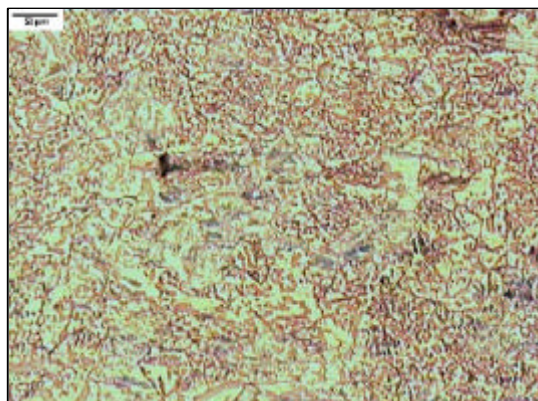


Fig. 467: Cementita globulizada de pequeño tamaño de grano.

Es también en esta zona de la punta, donde se aprecian los primeros frentes de corrosión intergranular a través de la cementita reticular (Figs. 468, 469 y 470).



Fig. 468: Frente de corrosión intergranular.



Fig. 469: Degradación preferencial de cementita reticular.

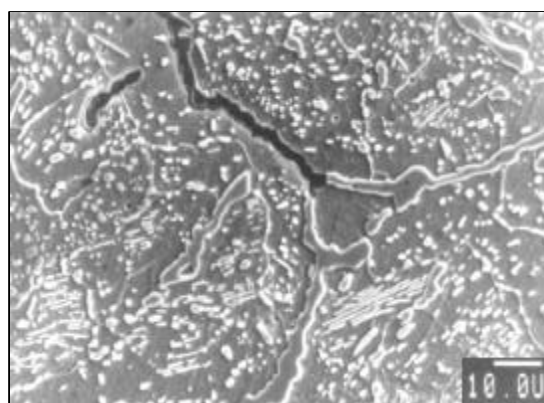


Fig. 470: Detalle de frente de degradación.

Estas zonas donde el efecto de la corrosión es patente, las zonas degradadas engloban fundamentalmente tres capas (Fig. 471); una de masa metálica (A) con un grado de degradación mínimo o incipiente, otra en proceso de corrosión intergranular (B) y la zona totalmente degradada (C) que pasa a constituir y formar parte de las pátinas de corrosión d la pieza.

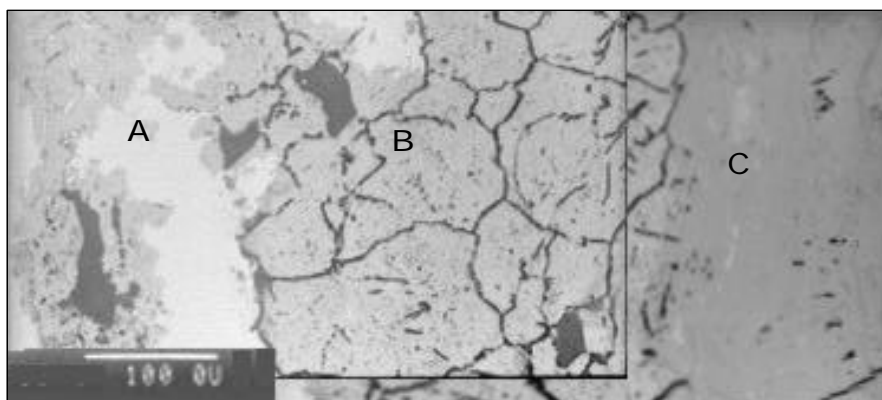


Fig. 471: Macrografía de la pátina de corrosión. A.- Masa Metálica. B.- Proceso de degradación. C.- Masa totalmente degradada.

Por otro lado, la sección longitudinal de punta, presenta una mayor concentración de carbono (Figs. 472, 473 y 474). Las zonas más externas de la punta presentan cementita precipitada en el límite de macla de la austenita originaria (Fig. 475).



Fig. 472: Cementita reticular.



Fig. 473: Zona de degradación.

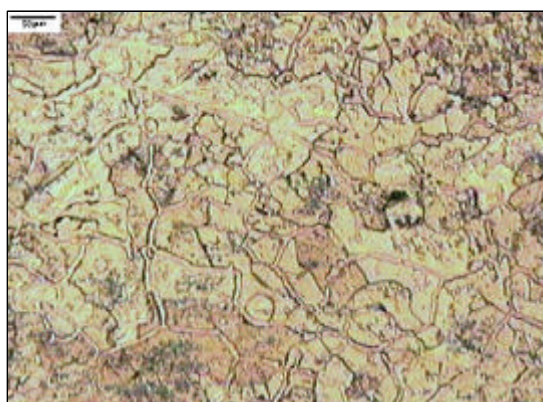


Fig. 474: Cementita reticular y perlita parcialmente globulizada.



Fig. 475: Cementita reticular y en límite de macla.

4.1.20.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica de este objeto (Fig. 476), mediante análisis de dureza Vickers, indica un ligero incremento de los valores de la misma, en la sección longitudinal, al aproximarnos a la zona de punta (Fig. 477). Este hecho está de acuerdo con las microestructuras observadas, donde en la zona de punta se presentaba cementita maclada que incrementará el valor de dureza.

Fig. 476: Esquema del Buril.

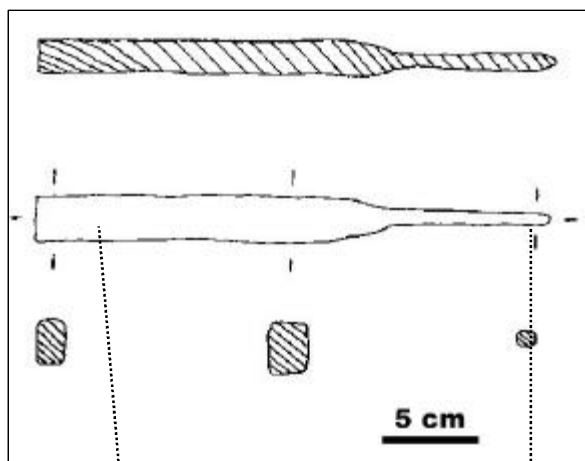
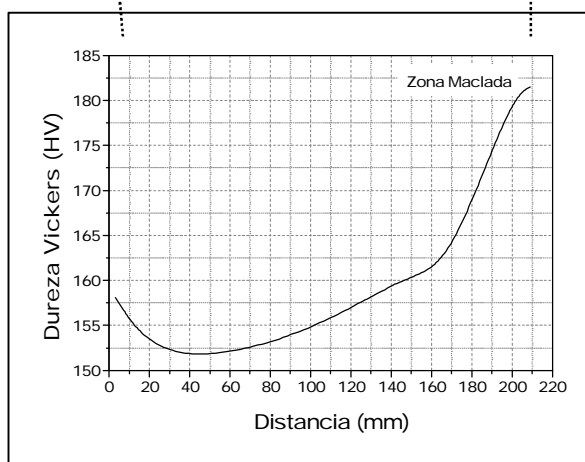


Fig. 477: Perfil de dureza Vickers en la sección longitudinal del objeto.



4.1.20.4. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico utilizado en la fabricación de esta herramienta consistiría en:

- ✂ Forjar en caliente la preforma del buril, a partir de un tocho con un contenido en carbono elevado.
- ✂ Conformar la punta mediante martillado en caliente de la preforma de buril.
- ✂ Cementar la punta y darle un tratamiento de recocido de globulización.

- 459. Fig. : Cementita reticular sobre matriz ferrítica.
- 460. Fig. : Cementita reticular con colonias de perlita precipitadas intragranularmente.
- 461. Fig. : Cementita parcialmente globulizada sobre matriz ferrítica.
- 462. Fig. : Cementita globulizada.
- 463. Fig. : Cementita producto de recocido incompleto.
- 464. Fig. : Macrografía del fragmento del objeto con disminución de sección.
- 465. Fig. : Cementita reticular con perlita intragranular.
- 466. Fig. : Cementita reticular con incremento de las colonias perlíticas intragranulares.
- 467. Fig. : Cementita globulizada de pequeño tamaño de grano.
- 468. Fig. : Frente de corrosión intergranular.
- 469. Fig. : Degradación preferencial de cementita reticular.
- 470. Fig. : Detalle de frente de degradación.
- 471. Fig. : Macrografía de la pátina de corrosión. A.- Masa Metálica. B.- Proceso de degradación. C.- Masa totalmente degradada.
- 472. Fig. : Cementita parcialmente reticular.
- 473. Fig. : Pérdida de la reticularidad de la cementita.
- 474. Fig. : Cementita parcialmente globulizada.
- 475. Fig. : Cementita globulizada y maclada.
- 476. Fig. : Esquema del Buril.
- 477. Fig. : Perfil de dureza Vickers en la sección longitudinal del objeto.

7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).

4.1.21 Hoja de Sierra

4.1.21.1. CATALOGACIÓN

La hoja de sierra fue encontrada en la habitación 9-2, ala oeste, de la villa romana de "La Olmeda" (Fig. 478).



Fig. 478: Objeto denominado Hoja de Sierra.

Debido a la posible utilidad que habría tenido este objeto para algunos operarios que habitaron la villa, se reconoció a esta pieza como perteneciente al grupo número 5, del catálogo de hallazgos de la villa, o grupo de herramientas de oficios.

Es una pieza pequeña, alargada, plana y terminada en punta. Posee un lado curvado mientras que el otro lado tiene 15 dientes uniformemente distribuidos y con la misma orientación. Las dimensiones de esta pieza se presentan en la tabla XLVII.

Tabla XLVII: Dimensiones de la sierra.

DIMENSIONES	MEDIDAS (mm)
Longitud	99.4
Grosor	2.3
Anchura	26.14

Han sido encontradas y estudiadas piezas similares a la examinada en el presente trabajo, de la Edad del Bronce [7, 107], pero a diferencia de ellas esta carece de mecanismo de empuje [104].

4.1.21.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Se ha realizado un análisis mediante difracción de rayos X de las tierras que acompañaban a la pieza, antes de la consolidación de la sierra.

El difractograma obtenido (Fig. 479), muestra picos de intensidad que quedan identificados como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34-1266), magnetita Fe_3O_4 (74-0748) y calcita CaCO_3 (72-1650) (Tabla XLVIII).

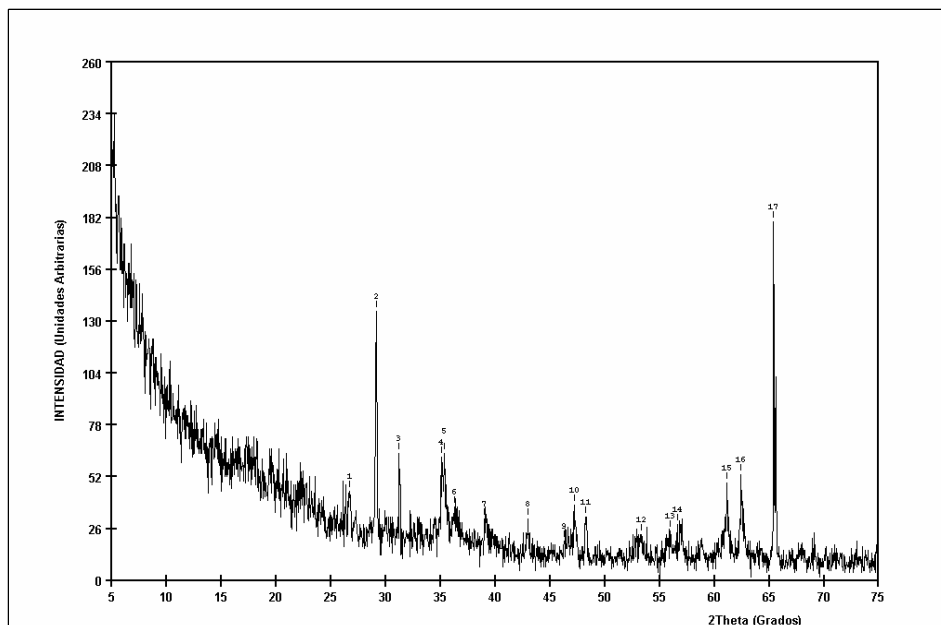


Fig. 479: Difractograma de las tierras recogidas junto a la Hoja de Sierra.

Tabla XLVIII: Identificación de los picos del difractograma de tierras acompañantes a la Sierra.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	26.74	3.334	25	FeOOH	34-1266	3	1	0
2	29.14	3.065	75	CaCO ₃	72-1650	1	0	4
3	31.22	2.865	35.6	CaCO ₃	72-1650	0	0	6
4	35.06	2.559	34.4	FeOOH	34-1266	2	1	1
5	35.38	2.537	35.6	Fe ₃ O ₄	74-0748	3	1	1
6	36.26	2.477	20.6	Fe ₃ O ₄	74-0748	2	2	2
7	39.02	2.308	17.2	FeOOH	34-1266	3	0	1
8	43.02	2.103	17.2	CaCO ₃	72-1650	2	0	2
9	46.30	1.961	11.1	FeOOH	34-1266	4	1	1
10	47.22	1.925	21.1	CaCO ₃	72-1650	0	1	8
11	48.22	1.887	17.8	CaCO ₃	72-1650	1	1	6
12	53.30	1.719	12.8	FeOOH	34-1266	6	0	0
13	55.98	1.643	13.9	FeOOH	34-1266	5	2	1
14	56.62	1.626	15.6	Fe ₃ O ₄	74-0748	3	3	3
15	61.14	1.516	27.2	CaCO ₃	72-1650	2	0	8
16	62.42	1.488	29.4	Fe ₃ O ₄	74-0748	4	4	0
17	65.42	1.427	100	Fe ₃ O ₄	74-0748	5	3	1

4.1.21.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

En la radiografía de esta pieza no se observó ningún tipo de grieta, repliegue o defecto que nos indicase que hubiese sido fabricada mediante procesos de soldadura (Fig. 480).

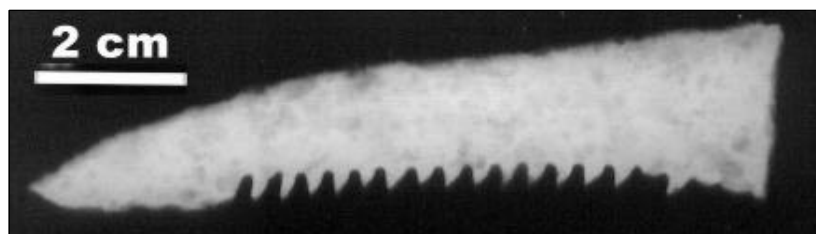


Fig. 480: Radiografía longitudinal de la pieza.

La caracterización microestructural, mediante microscopía óptica, se ha realizado en una sección longitudinal de un diente de la sierra.

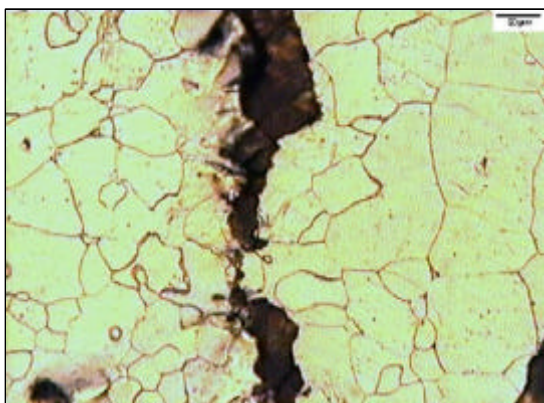


Fig. 481: Matriz ferrítica con escorias en la zona del diente.

La microestructura que se muestra en la figura 481 es ferrítica. El grano ferrítico presenta tamaño de grano variable, mostrándose deformados y con numerosas escorias en la punta del diente.

Las escorias que forman parte de estas microestructuras (Fig. 482) se encuentran constituidas por cristales idiomórficos de fayalita, marcada como A en la figura 483, y manganeso en solución sólida (Fig. 484).

La zona constituida por cristales se encuentra embebida en una matriz formada por calcio, hierro, aluminio y silicio (Fig. 485), marcada como B en la figura 483.

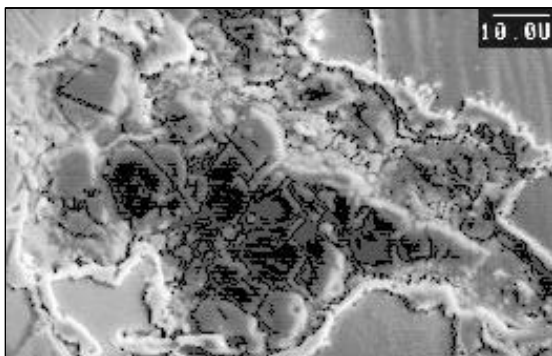


Fig. 482: Detalle de la escoria.

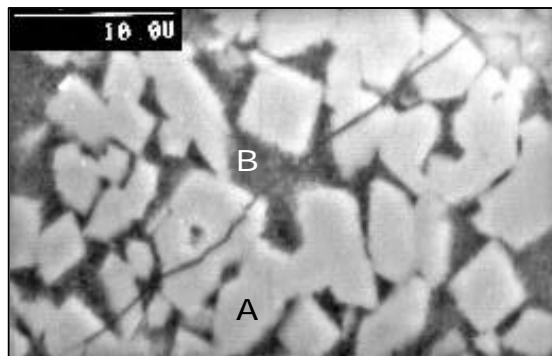


Fig. 483: Cristales idiomórficos formando parte de la escoria.

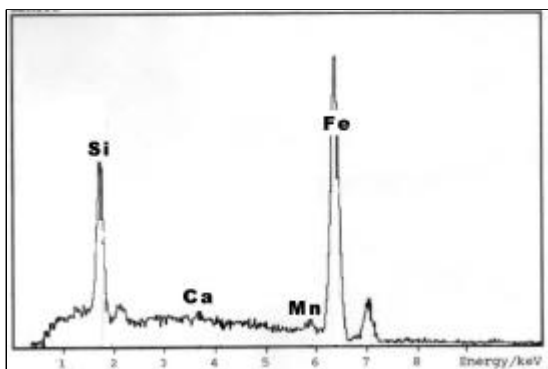


Fig. 484: Identificación EDS de los componentes de la escoria, denominados como A en la figura 483.

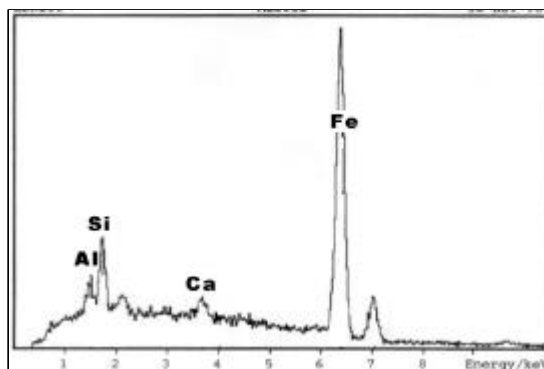


Fig. 485: Identificación EDS de los componentes de la escoria, denominados como B en la figura 483.

Al alejarse de la punta del diente, el tamaño de grano de la ferrita aumenta y disminuye su grado de deformación, de manera que el grano ferrítico, que antes se mostraba deformado (Fig. 486), ahora se presenta equiaxial y libre de precipitados (Fig. 487).

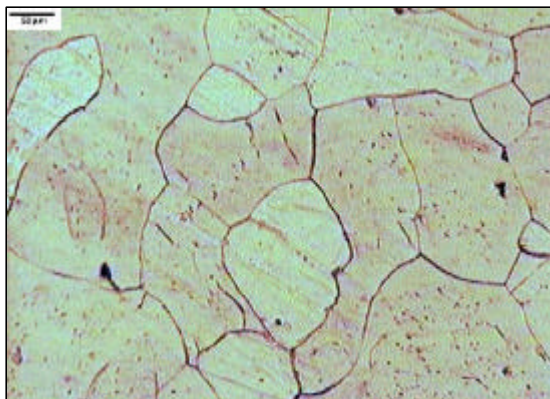


Fig. 486: Ferrita de grano ligeramente deformado con cementita intragranular.

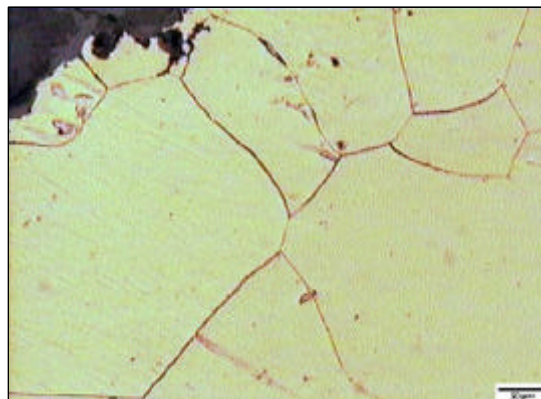


Fig. 487: Ferrita de grano equiaxial y de gran tamaño.

La estructura de ferrita deformada, presenta cementita terciaria (Fig. 488), así como fenómenos de recrystalización del grano (Fig. 489).

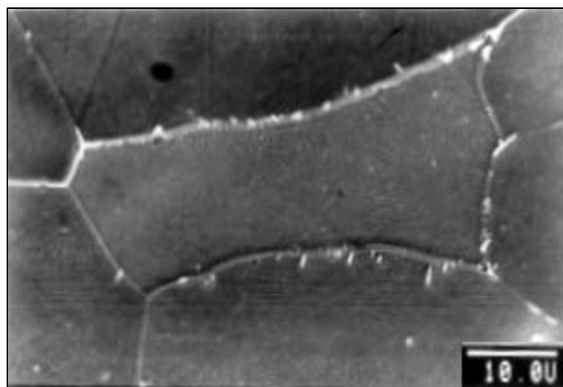


Fig. 488: Cementita precipitada en límite de grano ferrítico.

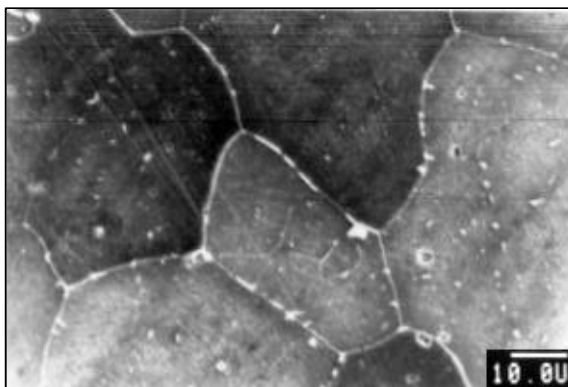


Fig. 489: Ferrita recrystalizada.

A mayores aumentos, se observa como en la ferrita se presentan bandas de deformación (Figs. 490 y 491).

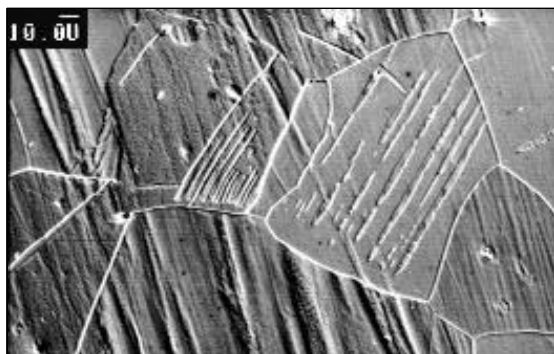


Fig. 490: Ferrita y bandas de deformación.

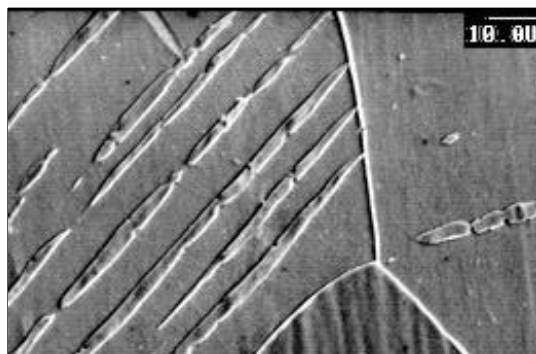


Fig. 491: Detalle de bandas de deformación.

4.1.21.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers, obtenidos en el análisis de esta pieza (Fig. 493), están de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis microestructural.

En los análisis de dureza se observó que los valores oscilaban entre 140-170 HV, que correspondían a una matriz ferrítica (140 HV), y 170 HV correspondientes a ferrita deformada (Fig. 492).

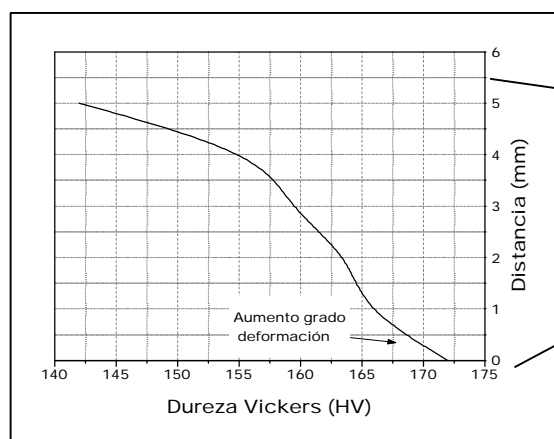


Fig. 492: Perfil de durezas transversal de la pieza, sección AB.

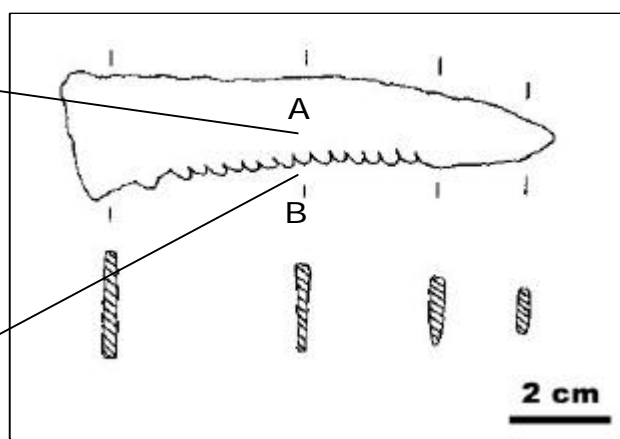


Fig. 493: Esquema de la Hoja de Sierra.

4.1.21.5. SIMULACIÓN TECNOLÓGICA

El procedimiento tecnológico seguido en la fabricación de esta hoja de sierra consistió en:

- ✍ Conformer una lámina de hierro mediante forja.
- ✍ Corte mediante cizalla de la lámina de acero utilizando una gubia y un martillo.
- ✍ Martillar la pieza para adquirir la dureza por acritud necesaria en su posterior utilización.

- 478. *Fig. : Objeto denominado Hoja de Sierra.*
- 479. *Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto a la Hoja de Sierra.*
- 480. *Fig. : Radiografía longitudinal de la pieza.*
- 481. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias en la zona del diente.*
- 482. *Fig. : Detalle de la escoria.*
- 483. *Fig. : Cristales idiomórficos formando parte de la escoria.*
- 484. *Fig. : Identificación de los componentes de la escoria denominados como A.*
- 485. *Fig. : Identificación de los componentes de la escoria denominados como B.*
- 486. *Fig. : Matriz ferrítica de grano ligeramente deformado.*
- 487. *Fig. : Ferrita de grano equiaxial y de gran tamaño.*
- 488. *Fig. : Microestructura de poligonización intragranular.*
- 489. *Fig. : Cementita primaria y terciaria en límite de grano.*
- 490. *Fig. : Ferrita equiaxial con Bandas de Luder.*
- 491. *Fig. : Detalle de maclas de deformación.*
- 492. *Fig. : Perfil de durezas transversal de la pieza, sección AB.*
- 493. *Fig. : Esquema de la Hoja de Sierra.*

XLVII. *Tabla : Dimensiones de la sierra.*

XLVIII. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de tierras acompañantes a la Sierra.*

7. "La "Cultura" del Argar", V. LULL, Ed. AKAL, (1983).

107. MADROÑERO DE LA CAL, A.; MARTÍN COSTEA, A.; LÓPEZ SERRANO, V.; GARCÍA CARCEDO, F. y ARLEGUI SÁNCHEZ, M. (): "Estudio arqueometalúrgico de útiles y retos minerometalúrgicos de hierro del yacimiento celtibérico de " Castilmontán" (Somaén, Soria)". Museo de Zaragoza. Boletín 11. Zaragoza. (1992). pp: 47 - 88.

104. BLANCO-FREIJEIRO, A. y ROTHENBERG, B.: "Exploración arqueometalúrgica de Huelva". Río Tinto Minera S.A. Labor S.A. Huelva. (1981). pp: 262-273; 278.

4.2 PIEZAS DE LA VILLA DE LA TEJADA

Las piezas que han sido estudiadas en el presente trabajo, en un total de 21 objetos, fueron encontradas en la villa palentina de La Tejada.

Se tratan de piezas de naturaleza base hierro y cobre.

El conjunto estudiado queda formado por siete clavos, trece fragmentos de varilla y un buril.

Los clavos tienen en su totalidad naturaleza férrea, al igual que el buril y, se diferencian por sus dimensiones y por su morfología.

Las varillas presentan diferente naturaleza, puede ser base cobre o base hierro. Son macizas en su totalidad y se muestran en un buen estado de conservación.

Las piezas fueron identificadas por los arqueólogos del yacimiento y presentan una nomenclatura relacionada con la ordenación en el yacimiento de La Tejada.

Seguidamente se exponen, para cada una de las piezas, los resultados obtenidos mediante las técnicas de caracterización. Finalmente se propondrá una simulación del procedimiento tecnológico llevado a cabo en la fabricación del conjunto de clavos estudiados, así como de las varillas.

4.2.1 Clavo nº 1

4.2.1.1. CATALOGACIÓN

En la villa de La Tejada se halló esta pieza, siendo con identificada como clavo número 1, y cuyas características y dimensiones quedan reflejadas en la tabla XLIX.

Tabla XLIX: Características físicas del clavo denominado número 1.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	10.51	Nº 1	16.68	7.47	8.36	70.06

Desde el punto de vista físico se trata de un clavo de considerable longitud y de sección plana (Fig. 494), tanto en la zona de cabeza, como en la zona de cuerpo.



Fig. 494 : Objeto catalogado como clavo número 1.

4.2.1.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de este clavo ha sido realizada en la totalidad de la sección longitudinal del mismo; zona de cabeza, cuerpo y punta.

Las microestructuras se muestran correlacionadas entre sí, de manera que el contenido de carbono se ve incrementado, al aproximarnos a la punta del clavo. Es decir, que se pasa de tener estructuras ferríticas en prácticamente la totalidad de la cabeza del clavo (Fig. 495), pasando por estructuras ferrítico perlíticas en zonas intermedias de la pieza (Fig. 496), hasta presentar estructuras totalmente eutectoides en la zona de punta del clavo (Fig. 497).

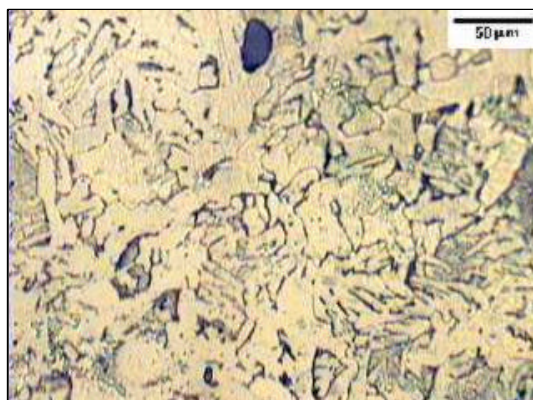


Fig. 495: Microestructura ferrítica con escorias en su matriz, cabeza del clavo.

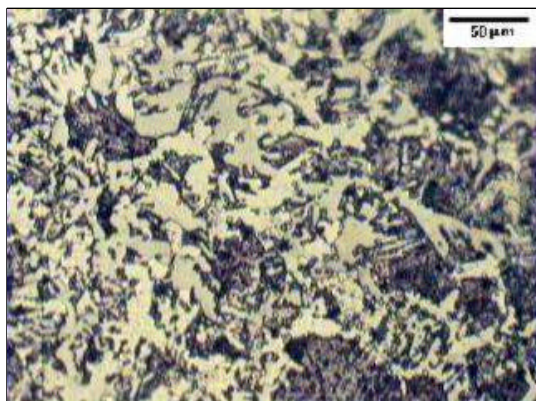


Fig. 496: Microestructura ferrítico perlítica. Cuerpo de clavo.

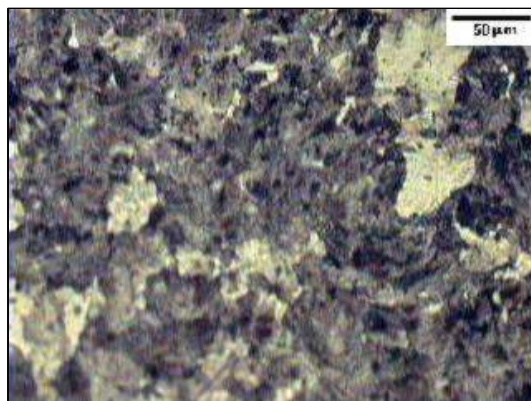


Fig. 497: Microestructura eutectoide. Punta de clavo.

No obstante, en la sección longitudinal de la cabeza del clavo, también se pueden observar zonas de distinto contenido en carbono (Figs. 498 y 499).

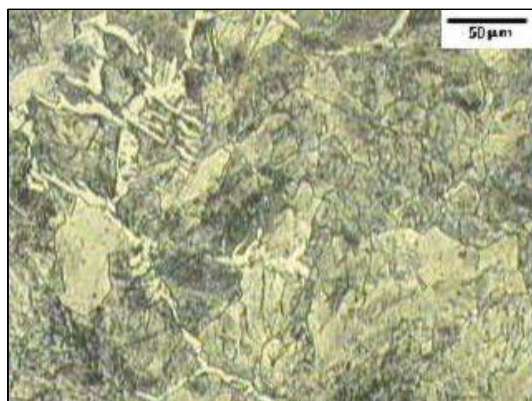


Fig. 498: Microestructura hipoeutectoide, de alto contenido en carbono.

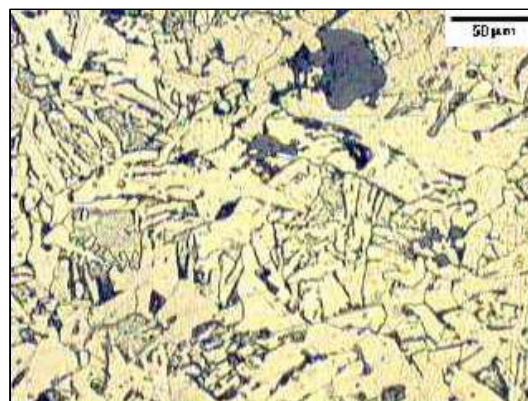


Fig. 499: Microestructura hipoeutectoide de bajo contenido en carbono.

Este comportamiento se repite a lo largo de toda la pieza y fue posible establecer, que las zonas más carburadas son las externas de la pieza (Fig. 500), mientras que las internas están decarburadas (Fig. 501).

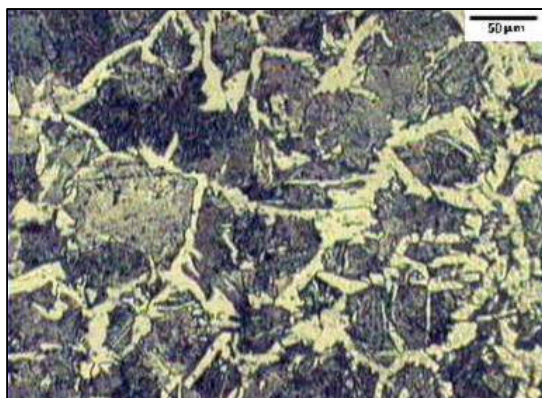


Fig.500 : Microestructura ferrítico perlítica, en zonas periféricas de la pieza.

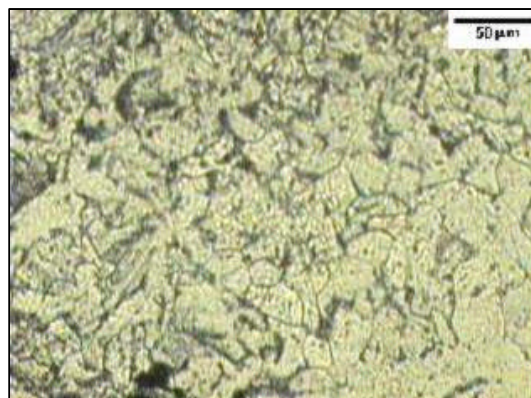


Fig. 501: Microestructura ferrítica, en zonas interiores de la pieza.

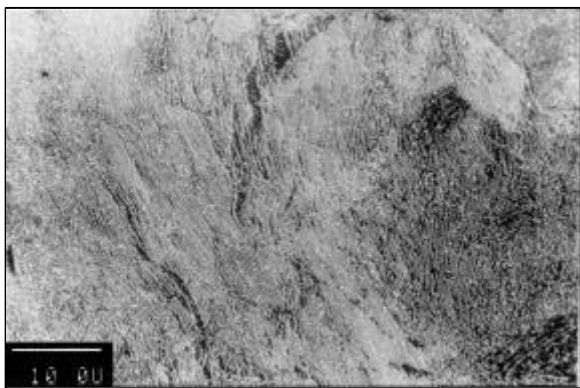


Fig. 502: Microestructura perlítica.

Las secciones longitudinales externas de la punta esta constituidas por grandes colonias perlíticas (Fig. 502).

Finalmente, la sección longitudinal en la zona del cuerpo del clavo, presenta una microestructura perlítica con grano fino de ferrita en limite de grano (Fig. 503). Existen zonas de globulización de la perlita cuando nos aproximamos a la cabeza del grano (Fig. 504).



Fig. 503: Perlita de grano fino.

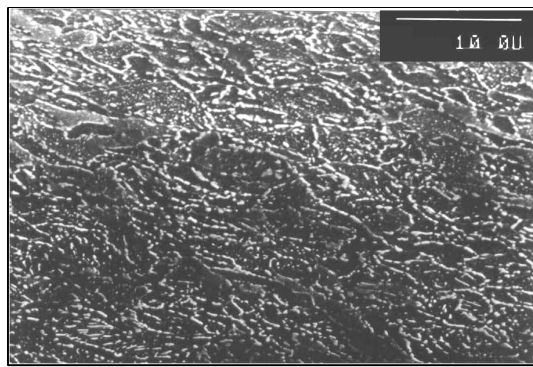


Fig. 504: Microestructura ferrítico perlítica globulizada.

4.2.1.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los perfiles de dureza de la pieza (Fig. 505) muestran un ligero aumento de los valores de dureza al acercarnos a la zona de punta (Fig. 506), así como al situarnos en la parte central de la zona de cabeza (Fig. 507), o al acercarnos al borde de la pieza (Fig. 508).

Estos valores se corresponden con las microestructuras observadas en el trabajo. De manera que las microestructuras menos carburadas muestran durezas de valor 210 ± 10 HV, mientras que las carburadas son de 270 ± 10 HV.

XLIX. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 1.*

- 494. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 1.*
- 495. *Fig. : Microestructura ferrítica con escorias en su matriz.*
- 496. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 497. *Fig. : Microestructura eutectoide.*
- 498. *Fig. : Microestructura hipoeutectoide, de alto contenido en carbono.*
- 499. *Fig. : Microestructura hipoeutectoide de bajo contenido en carbono.*
- 500. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 501. *Fig. : Microestructura ferrítica.*
- 502. *Fig. : Microestructura perlítica de grano austenítico direccionado.*
- 503. *Fig. : Perlita de grano fino.*
- 504. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 505. *Fig. : Esquema de la pieza.*
- 506. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.*
- 507. *Fig. : Perfil de dureza en la zona de cabeza.*
- 508. *Fig. : Perfil de dureza en la sección de la pieza*

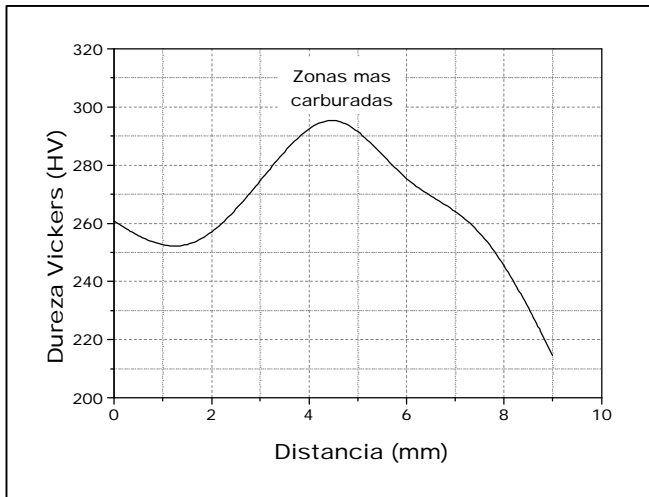


Fig. 507: Perfil de dureza en la zona de cabeza AB.

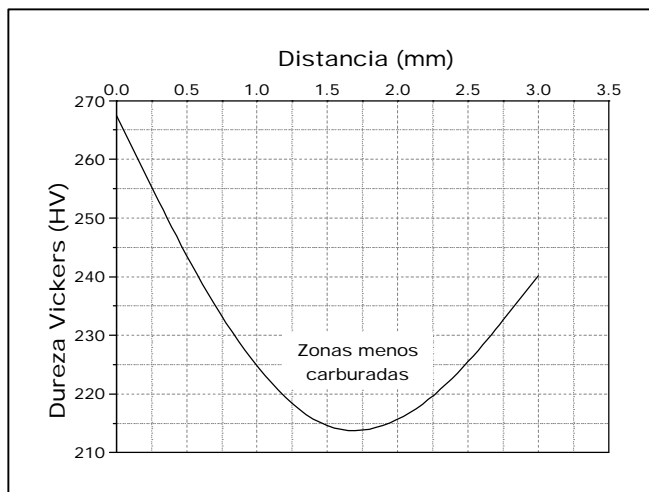


Fig. 508: Perfil de dureza en la sección transversal de la pieza, zona CD.

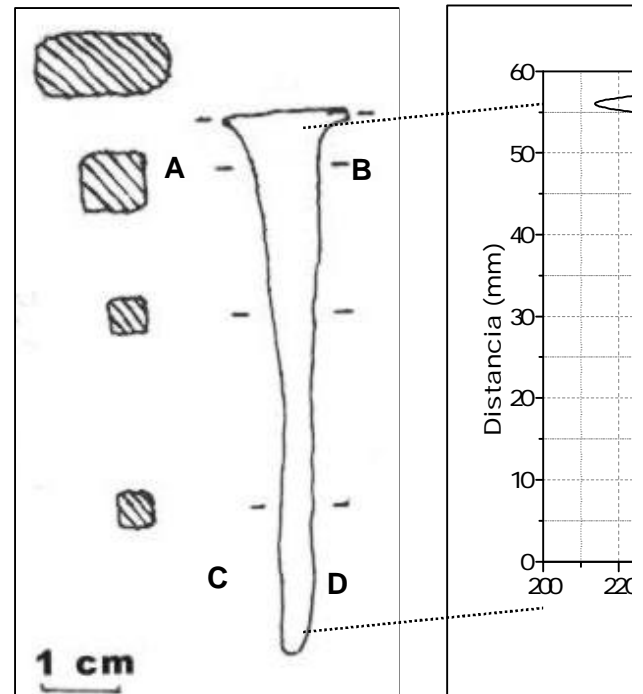


Fig. 505: Esquema de la pieza.

Fig. 506: Perfil de la pieza.

4.2.2 Clavo nº 2

4.2.2.1. CATALOGACIÓN

El clavo, identificado como número 2, fue catalogado según las medidas que se presentan en la tabla L.

Tabla L: Características físicas del clavo denominado número 2.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	10.86	Nº 2	19.89	9.82	11.01	37.9

Se trata de una pieza denominada como clavo dada su morfología, si bien es de pequeño tamaño, y su sección es rectangular, presenta en zona de cuerpo una reducción de área importante respecto a la zona de cabeza (Fig. 509).



Fig. 509: Objeto catalogado como clavo número 2.

4.2.2.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural del clavo ha sido realizada en la sección longitudinal del mismo.

Evaluando las variaciones microestructurales existentes desde las zonas centrales hacia la periferia de la pieza, el objeto muestra una microestructura ferrítico – perlítica con tamaño ferrítico pequeño en las zonas externas (Fig. 510), mientras que en las zonas centrales se incrementa el contenido en carbono (Fig. 511).



Fig. 510: Microestructura ferrítico perlítica de gran contenido ferrítico.



Fig. 511: Microestructura ferrítico perlítica de gran contenido perlítico.

En la sección de la zona de cabeza, se observan microestructuras eutectoides (Fig. 512) y hipoeutectoides (Fig. 513), situadas en zonas centrales y periféricas de la misma, respectivamente.



Fig. 512: Microestructura hipereutectoide en la zona central.



Fig.513 : Microestructura hipoeutectoide en zonas periféricas de cabeza.

Tomando como referencia el eje central de la pieza y partiendo de las estructuras hipereutectoides de la cabeza, se observa una decarburación al aproximarnos a la zona de punta (Fig. 514), microestructuras perlítico ferríticas en la zona del cuerpo (Fig. 515 y 516), e incluso llegando a estructuras totalmente ferríticas en la punta (Fig. 517).



Fig.514 : Microestructura eutectoide.

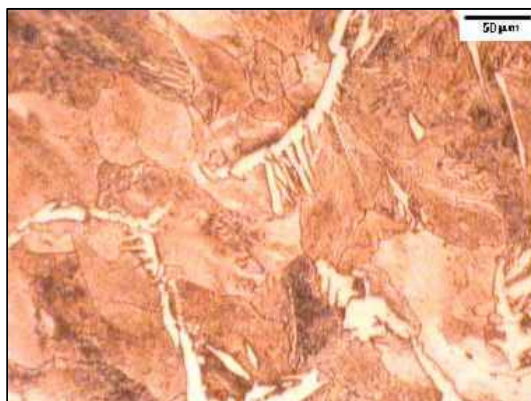


Fig. 515: Microestructura perlítico ferrítica.

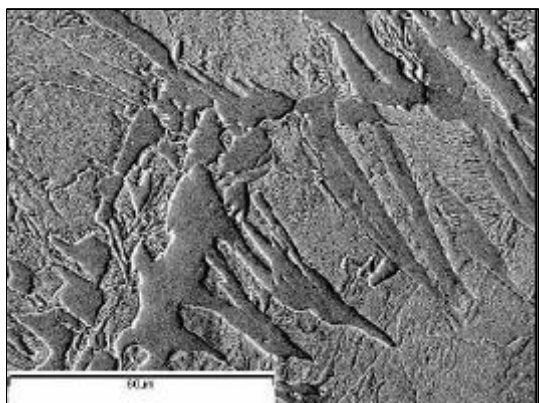


Fig. 516: Microestructura perlítico ferrítica con ferrita acicular.



Fig. 517: Zona de transición de microestructura ferrítico perlítica a ferrítica.

4.2.2.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los perfiles de dureza realizados sobre la pieza (Fig. 518), en la sección transversal de la cabeza (Fig. 519) se corresponden con valores altos en las zonas centrales (220 HV), zonas de mayor contenido en carbono, mientras que las zonas externas presentan valores bajos, aproximados a 100 HV, zonas más decarburadas.

En la sección longitudinal se presentan valores medios a lo largo de la pieza de 190 ± 30 HV, aunque se aprecia un descenso de estos valores al aproximarnos a la zona de punta (Fig. 520).

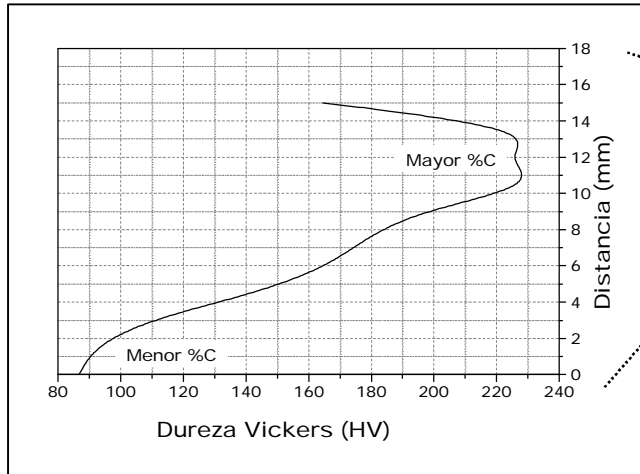


Fig. 519: Perfil en la sección de cabeza de la pieza.

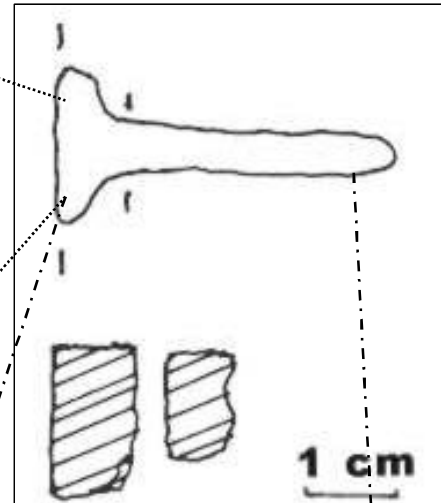


Fig. 518 :Esquema del objeto.

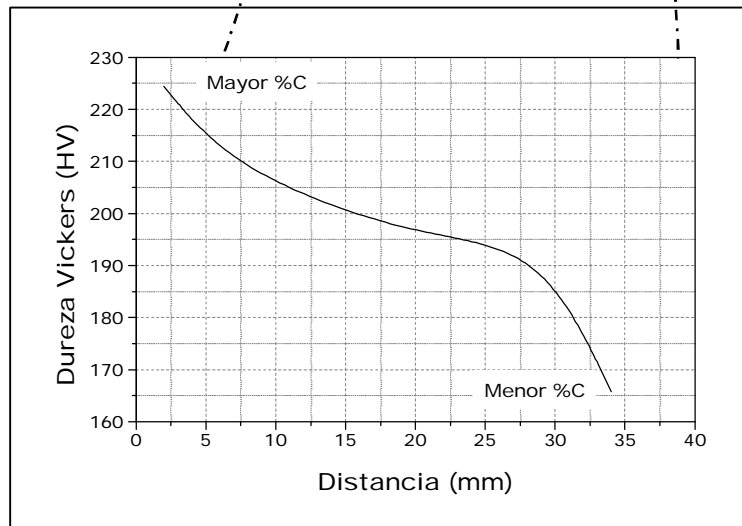


Fig. 520: Perfil de la sección longitudinal de la pieza en su eje central.

4.2.3 Clavo nº 3

4.2.3.1. CATALOGACIÓN

El clavo identificado con el número 3, posee unas características físicas, que quedan reflejadas en la tabla LI.

Tabla LI: Características físicas del clavo denominado número 3.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	17.04	Nº 4	24.95	9.94	9.20	46.87

Se trata de un clavo de morfología similar a la de una chincheta o tachuela, cuya zona de cabeza es de tamaño desproporcionado respecto a la zona del cuerpo (Fig. 521).



Fig. 521: Objeto catalogado como clavo número 3.

4.2.3.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Este objeto ha sido caracterizado microestructuralmente en su sección longitudinal, presentando una microestructura de hierro pudelado de bajo contenido en carbono, con estructura ferrítica en su totalidad, con grano equiáxico de gran tamaño debido a los procesos de recristalización y crecimiento de grano (Fig. 522).

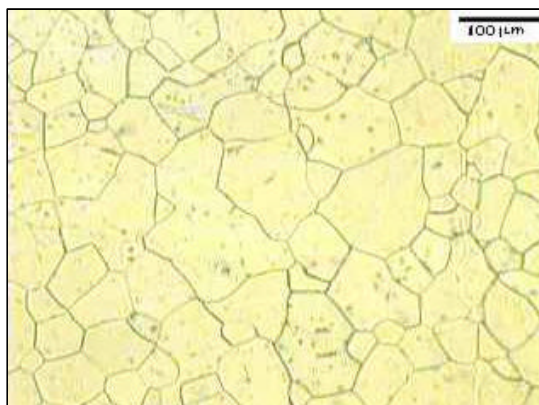


Fig. 522: Microestructura ferrítica.

Las variaciones microestructurales que muestra el objeto, fundamentalmente son de tamaño de grano, así se presenta un mayor tamaño en las zonas externas (Fig. 523), mientras que en las internas éste se reduce drásticamente (Fig. 524).



Fig. 523: Ferrita de gran tamaño de grano, en zonas periféricas.

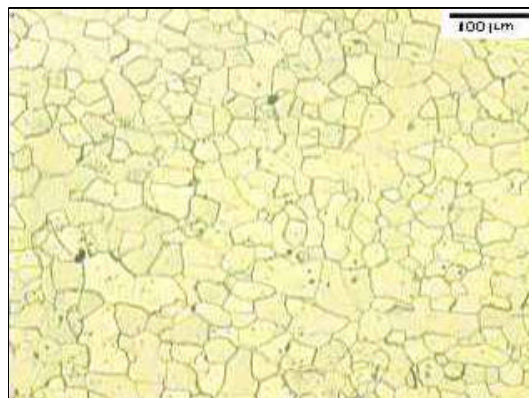


Fig. 524: Ferrita de grano pequeño, en zonas centrales.

Además, las zonas más externas, que constituyen el borde de la pieza, muestran la presencia de escorias direccionadas, así como deformación en el grano ferrítico (Fig. 525).

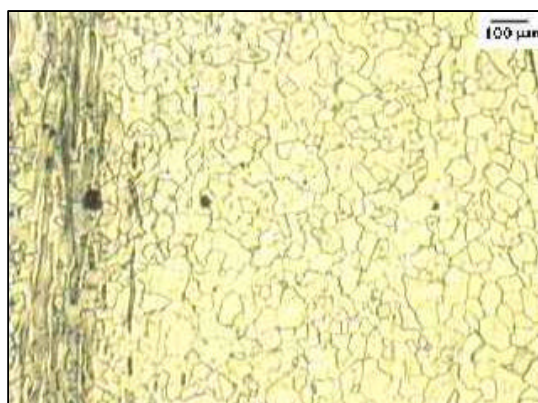


Fig. 525: Matriz ferrítica con escorias direccionadas.

Sólo de forma esporádica, aparecen zonas donde el contenido en carbono es algo superior, a la composición general del acero de toda la pieza. Estas zonas pueden presentarse, con estructura ferrítica con cementita precipitada, bien en límite de grano (Fig. 526), o bien intragranularmente (Fig. 527).

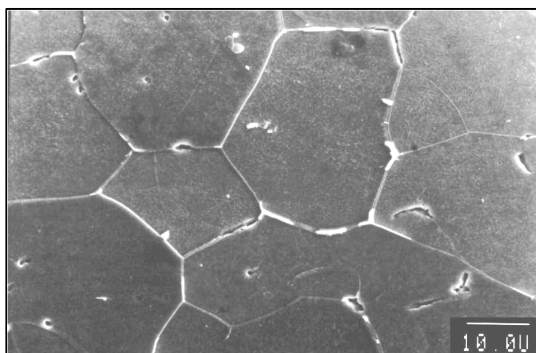


Fig. 526: Ferrita con cementita dispuesta en límite de grano.

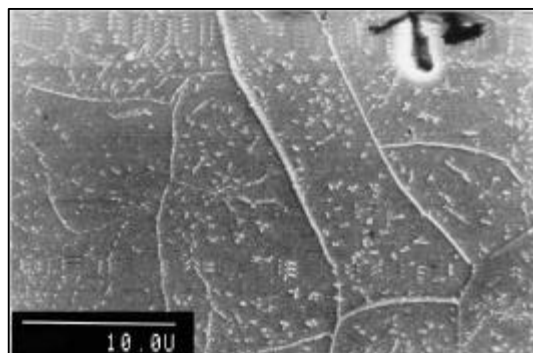


Fig. 527: Ferrita con cementita precipitada intragranularmente.

De forma adicional y no común en el resto de la pieza, fueron observadas escorias de gran tamaño situadas en la zona de cabeza (Fig. 528). Analizando dichas escorias mediante EDS se detectó la presencia de elementos como Fe, Al, Si y K (Fig. 529), lo que indica que se trate probablemente de una escoria de naturaleza fayalítica.

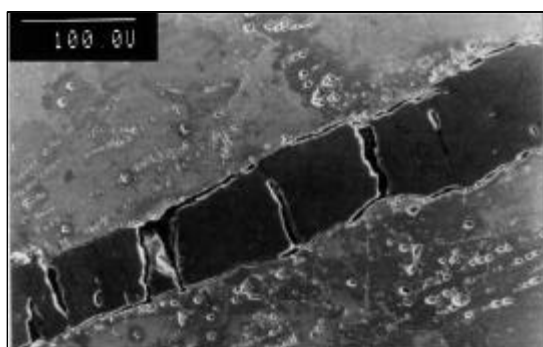


Fig. 528: Escoria dispuesta en la zona de cabeza del objeto.

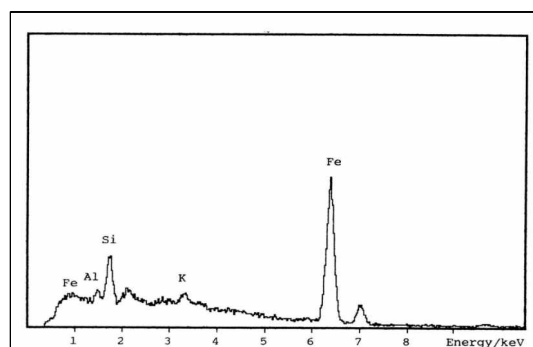


Fig. 529: Identificación EDS de la escoria de la figura 528.

4.2.3.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza que presenta este objeto (Fig. 530), tanto en la sección transversal de la cabeza (Fig. 531), del orden de 135 ± 15 HV, como en su sección longitudinal (Fig. 532), en el intervalo de 140 ± 20 HV, corroboran la uniformidad de la composición y microestructura, de la totalidad de la pieza.

L. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 3.*

- 509. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 3.*
- 510. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de gran contenido ferrítico.*
- 511. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de gran contenido perlítico.*
- 512. *Fig. : Microestructura hipereutectoide.*
- 513. *Fig. : Microestructura hipoeutectoide.*
- 514. *Fig. : Microestructura eutectoide.*
- 515. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 516. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica con ferrita acicular.*
- 517. *Fig. : Zona de transición de microestructura ferrítico perlítica a ferrítica.*
- 518. *Fig. :Esquema del objeto.*
- 519. *Fig. :Perfil en la sección de cabeza de la pieza.*
- 520. *Fig. :Perfil de la sección longitudinal de la pieza.*

LI. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 4.*

- 521. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 4.*
- 522. *Fig. : Microestructura ferrítica.*
- 523. *Fig. : Ferrita de gran tamaño de grano.*
- 524. *Fig. : Ferrita de grano pequeño.*
- 525. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias direccionadas.*
- 526. *Fig. : Ferrita con cementita dispuesta en límite de grano.*
- 527. *Fig. : Ferrita con cementita precipitada en el seno del grano.*
- 528. *Fig. : Escoria dispuesta en la zona de cabeza del objeto.*
- 529. *Fig. : Identificación de la escoria de la figura .*
- 530. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 531. *Fig. : Perfil de dureza de la sección transversal de la pieza, en la zona de cabeza.*
- 532. *Fig. : Perfil de la sección longitudinal de la pieza.*

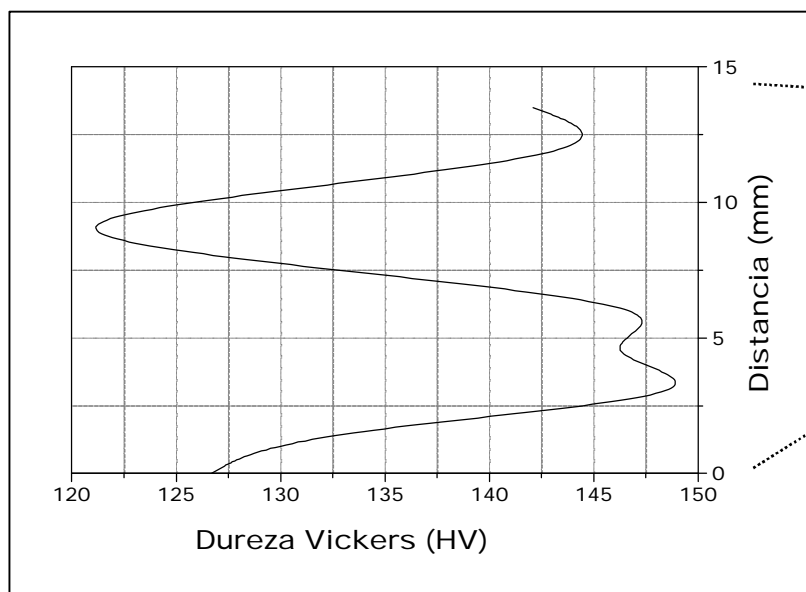


Fig. 531: Perfil de dureza de la sección transversal de la pieza, en la zona de cabeza.

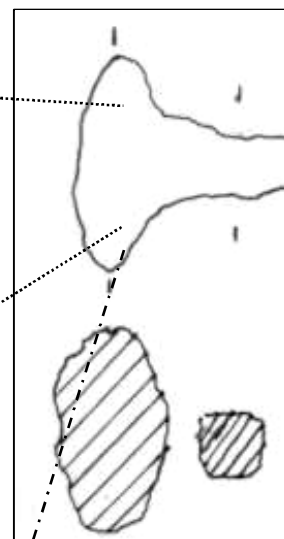
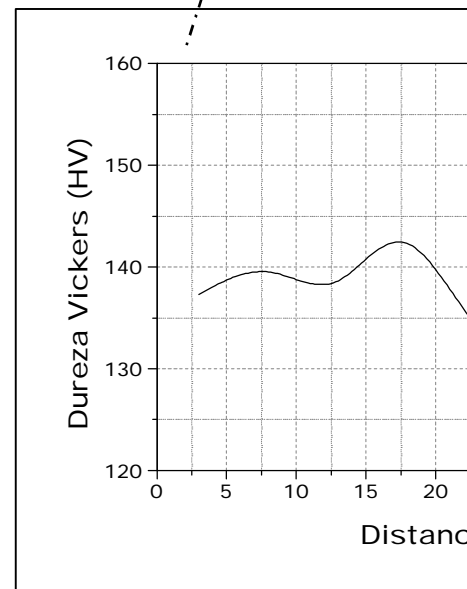


Fig. 532: Perfil de la sección longitudinal de la pieza.



4.2.4 Clavo nº 4

4.2.4.1. CATALOGACIÓN

El clavo identificado con el número 4, pertenece al conjunto de piezas halladas en la villa de La Tejada. Sus características físicas se muestran en la tabla LII.

Tabla LII: Características físicas del clavo denominado número 4.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	8.45	Nº 5	15.17	10.94	10.33	49.07

El objeto presentaba una sección circular en la zona del cuerpo, mientras que en la zona de cabeza la sección era poligonal (Fig. 533).



Fig. 533: Objeto catalogado como clavo número 4.

4.2.4.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural ha sido realizada en la totalidad de su sección longitudinal. Se trata de un clavo fabricado con un hierro pudelado que muestra una microestructura ferrítica mayoritaria (Fig. 534). El grano se presenta con tamaños variados, y en ocasiones está maclado (Fig. 535, 536 y 537).



Fig. 534: Matriz ferrítica.

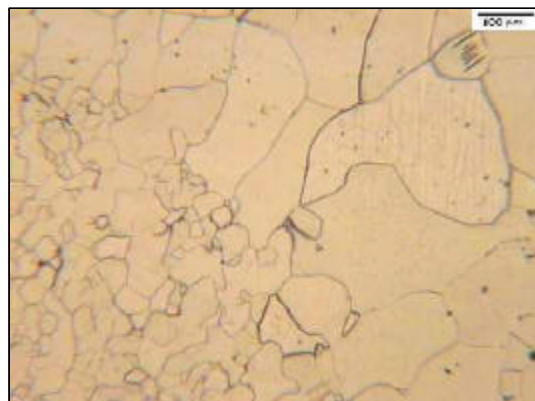


Fig. 535: Ferrita de distinto tamaño de grano.

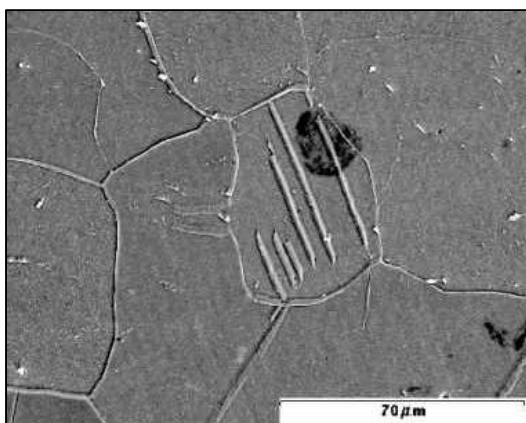


Fig. 536: Grano ferrítico maclado en su interior.

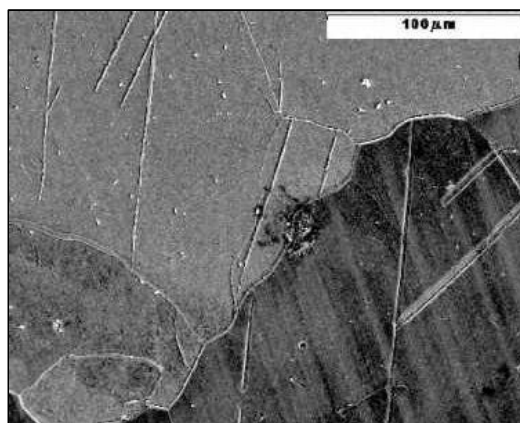


Fig. 537: Maclas en matriz ferrítica y en pátinas de corrosión.

La zona de cabeza de la pieza, en la sección longitudinal, muestra ferrita con zonas de recrystalización (Fig. 538) y a mayores aumentos, presenta cementita precipitada en límite de grano (Fig. 539).

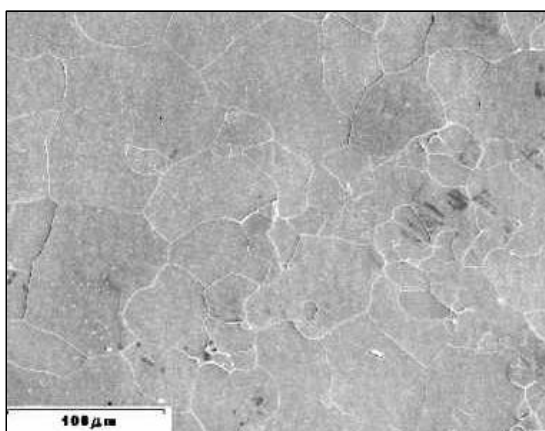


Fig. 538: Ferrita con recrystalización de grano.

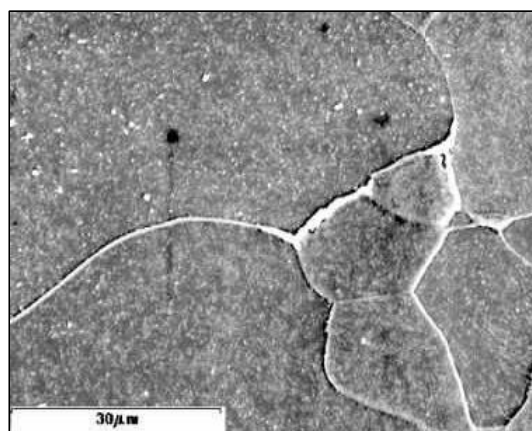


Fig. 539: Cementita dispuesta en límite de grano.

Por las pátinas de corrosión presentes en las zonas externas (Figs. 540 y 541), se deduce un proceso de corrosión de tipo generalizado.

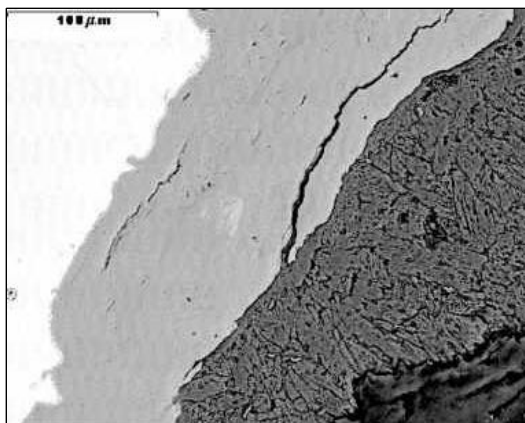


Fig. 540: Imagen de electrones retrodifundidos de zona de corrosión.

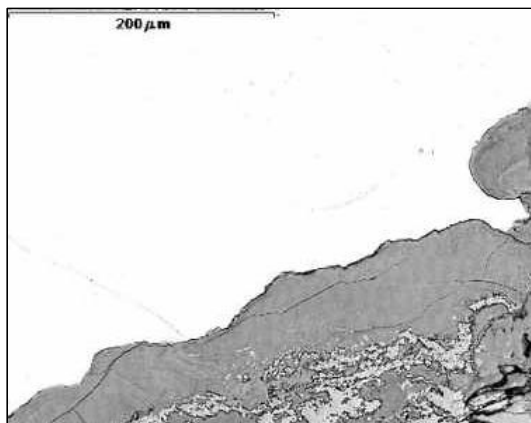


Fig. 541: Imagen de electrones retrodifundidos de la zona de corrosión.

4.2.4.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los perfiles de dureza obtenidos en esta pieza (Fig. 542), indica unos valores medios aproximados de 100 ± 20 HV.

Tanto los valores que se presentan en la sección longitudinal, sección AB (Fig. 543), como los que lo hacen en la sección transversal, sección CD (Fig. 544) de la cabeza, presentan variaciones mínimas que quedan incluidas dentro de los valores medios obtenidos.

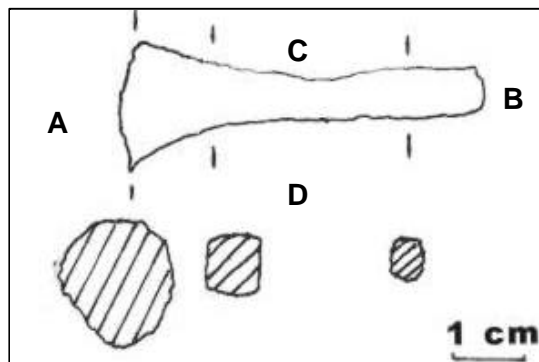


Fig. 542: Esquema del objeto.

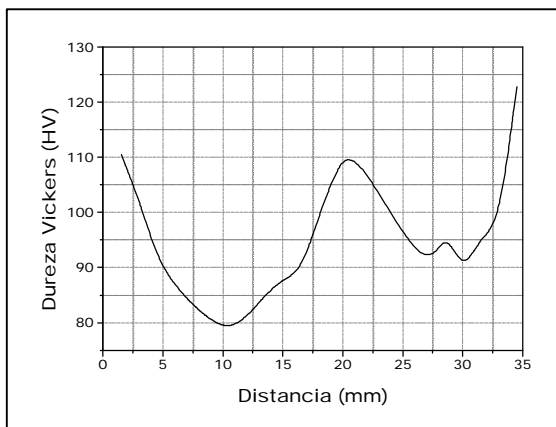


Fig. 543: Perfil de dureza de la sección AB longitudinal de la pieza.

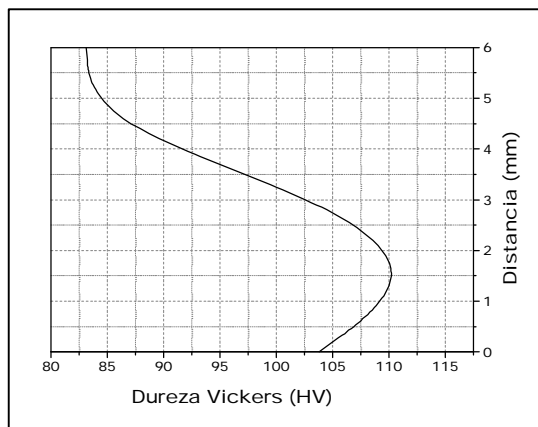


Fig. 544: Perfil de dureza de la sección CD transversal en la zona de cabeza.

LII. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 5.*

- 533. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 5.*
- 534. *Fig. : Matriz ferrítica.*
- 535. *Fig. : Ferrita de distinto tamaño de grano.*
- 536. *Fig. : Grano ferrítico maclado en su interior.*
- 537. *Fig. : Maclas en matriz ferrítica y en pátinas de corrosión.*
- 538. *Fig. : Ferrita con recristalización de grano.*
- 539. *Fig. : Cementita dispuesta en límite de grano.*
- 540. *Fig. : Imagen secundarios de zona de corrosión.*
- 541. *Fig. : Imagen de secundarios de la zona de corrosión.*
- 542. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 543. *Fig. : Perfil de dureza de la sección longitudinal de la pieza.*
- 544. *Fig. : Perfil de dureza de la sección transversal en la zona de cabeza.*

4.2.5 Clavo nº 5

4.2.5.1. CATALOGACIÓN

El clavo fue identificado con el número 5 (Tabla LIII).

Tabla LIII: Características físicas del clavo denominado número 5.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	7.13	Nº 5	14.29	8.10	8.43	67.64

Este objeto presenta un tamaño considerable de cuerpo, cuya sección es rectangular, al igual que la sección de la cabeza (Fig. 545).



Fig. 545: Objeto catalogado como clavo número 5.

4.2.5.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La sección que ha sido caracterizada microestructuralmente, es la longitudinal. En la zona de cabeza se muestran diferentes microestructuras asociadas a distintos contenidos en carbono, desde estructuras ferrítico perlíticas, hasta estructuras ferríticas (Figs. 546 y 547).



Fig. 546: Microestructura ferrítico perlítica.

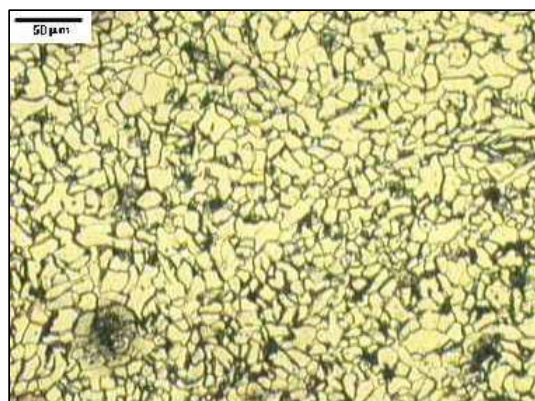


Fig. 547: Microestructura ferrítica con perlita.

Las zonas con menor contenido en carbono, muestra una microestructura de hierro pudelado con cementita precipitada en límite de grano ferrítico, el cual es de gran tamaño y se presenta recrystalizado (Fig. 548).

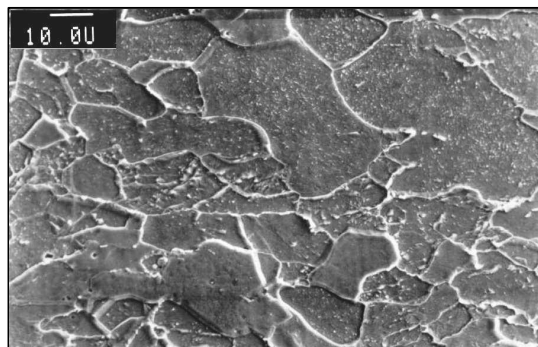


Fig. 548: Ferrita recrystalizada con cementita en límite de grano.

Por otro lado, en la zona de cuerpo del clavo, la microestructura que se muestra es menos carburada (Fig. 549), aunque aparecen pequeñas colonias de perlita en límite de grano ferrítico equiaxial (Fig. 550). Aisladamente, se observan zonas con un contenido en carbono ligeramente superior (Fig. 551) mostrándose microestructuras perlítico ferríticas típicas de aceros con contenidos en carbono del 0.55% aproximadamente (Fig. 552).

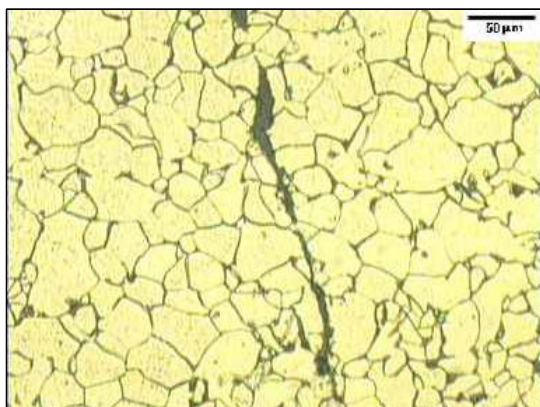


Fig. 549: Matriz ferrítica con escorias.

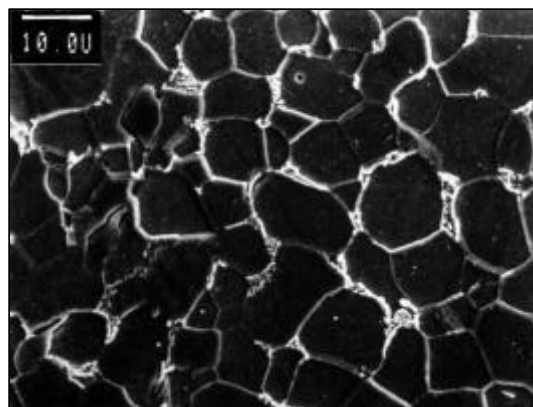


Fig. 550: Microestructura ferrítica.

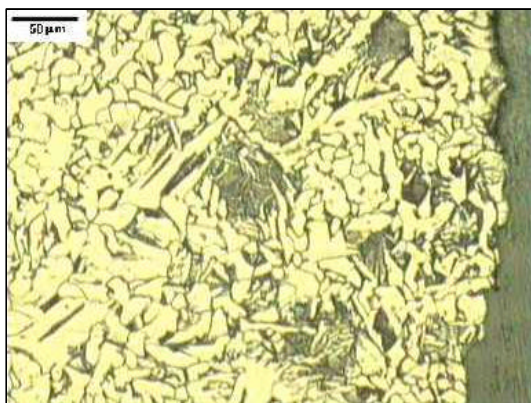


Fig. 551: Matriz ferrítica perlítica.

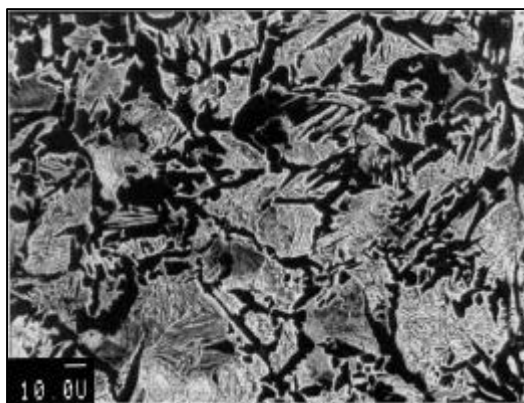


Fig. 552: Microestructura ferrítico perlítica.

Las escorias que aparecen en la pieza, se presentaban con morfología alargada, y siempre separando microestructuras de distinto tamaño de grano y con distinto grado de deformación (Fig. 553).



Fig. 553: Escoria que separa microestructuras de distinto tamaño de grano.

La sección longitudinal en la zona de punta presenta microestructura ferrítica de tamaño de grano variable (Fig. 554), con zonas aisladas de perlita fina (Fig. 555) precipita en el límite de grano ferrítico.

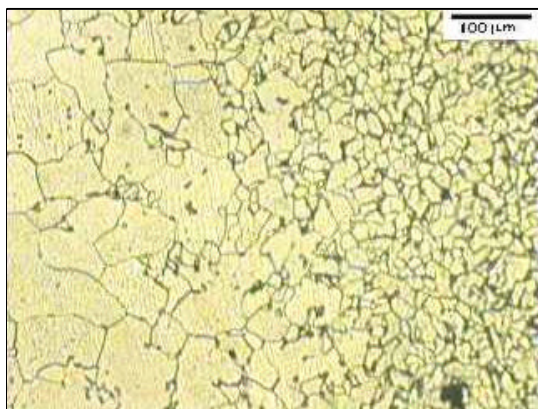


Fig. 554: Microestructura ferrítica de distinto tamaño de grano, en la zona de la punta.

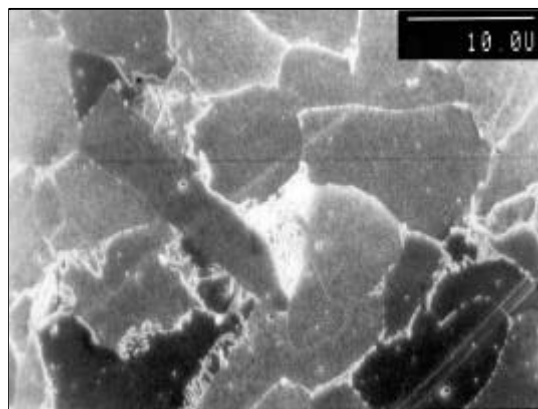


Fig. 555: Zona de precipitación de perlita fina.

En la zona externa de la pieza, aparecen pátinas de corrosión, con gran homogeneidad consecuencia de un proceso de corrosión generalizada (Fig. 556).

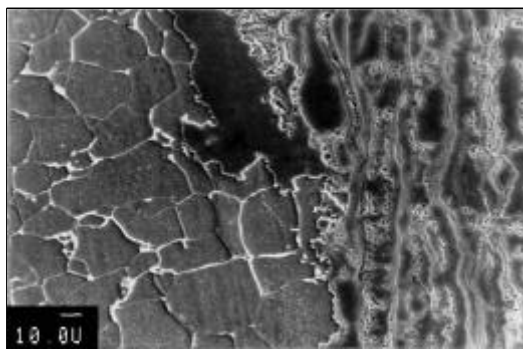


Fig. 556: Zona de pátinas de corrosión.

4.2.5.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica del objeto (Fig. 557), mediante medidas de dureza Vickers, ha sido realizada en la sección longitudinal, objeto de estudio.

Esta sección presenta un perfil de dureza donde se representa un aumento de estos valores al acercarnos a la zona de punta (Fig. 558).

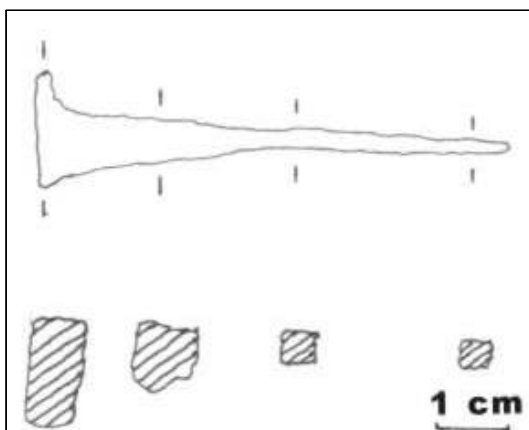


Fig. 557: Esquema del objeto.

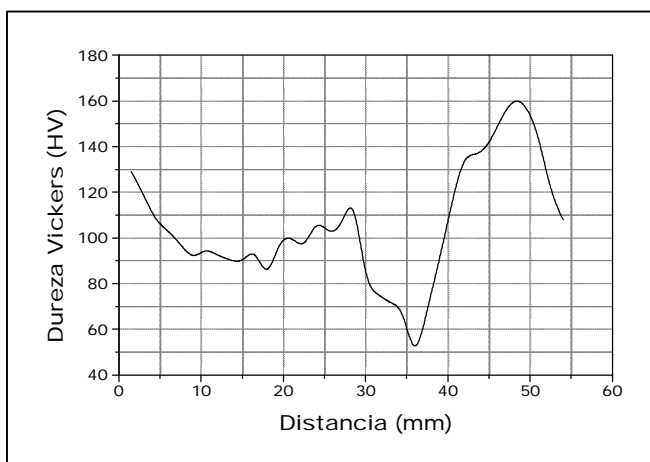


Fig. 558: Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.

LIII. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 6.*

- 545. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 6.*
- 546. *Fig. : Microestructura ferrítica carburada.*
- 547. *Fig. : Microestructura ferrítica no carburada.*
- 548. *Fig. : Ferrita recristalizada con cementita en límite de grano.*
- 549. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias.*
- 550. *Fig. : Microestructura ferrítica.*
- 551. *Fig. : Matriz ferrítica perlítica.*
- 552. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 553. *Fig. : Escoria que separa microestructuras de distinto contenido de carbono.*
- 554. *Fig. : Microestructura ferrítica de distinto tamaño de grano.*
- 555. *Fig. : Zona de precipitación de perlita fina.*
- 556. *Fig. : Zona de pátinas de corrosión.*
- 557. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 558. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.*

4.2.6 Clavo nº 6

4.2.6.1. CATALOGACIÓN

El clavo identificado con el número 6 quedo catalogado como clavo por su morfología externa (Tabla LIV).

Tabla LIV: Características físicas del clavo denominado número 6.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	11.62	Nº 6	20.90	6.07	7.15	55.14

Es un objeto que presentaba sus dimensiones desproporcionadas. La zona del cuerpo presenta una sección rectangular, mientras que la de cabeza la presenta circular (Fig. 559).



Fig. 559: Objeto catalogado como clavo número 6.

4.2.6.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La sección elegida para la caracterización microestructural de esta pieza es la longitudinal.

De forma general, esta pieza está fabricada en un hierro pudelado mostrando microestructuras ferríticas con escorias direccionadas (Fig. 560), las cuales están formadas por dos fases (Fig. 561), nódulos de wustita (Fig. 562) sobre una masa vítrea formada por Fe, Si, Mg y K (Fig. 563), donde se muestra también un importante contenido en fósforo.



Fig. 560: Matriz ferrítica con escorias.

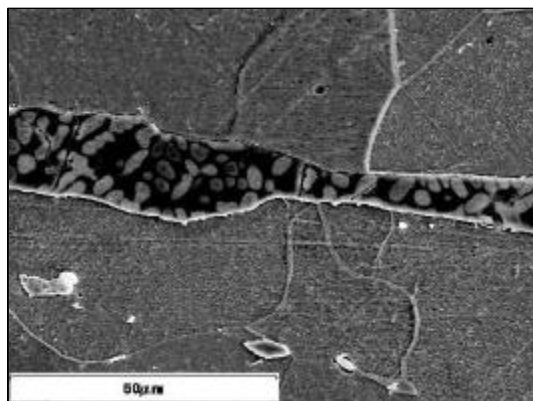


Fig. 561: Detalle de la escoria

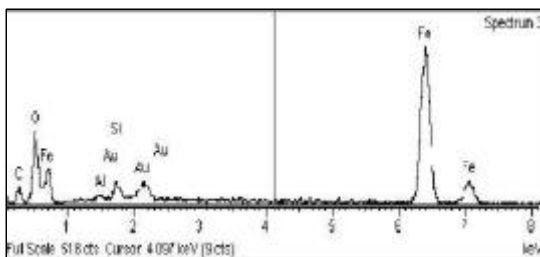


Fig. 562: Identificación de Wustita.

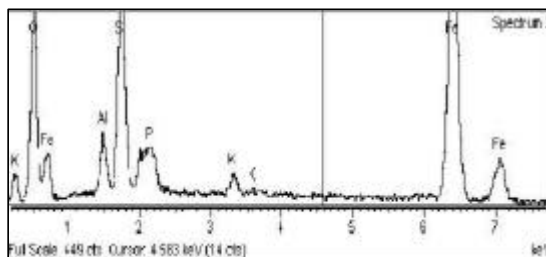


Fig. 563: Identificación de masa vítrea

La zona más externa de la sección es donde se ubican las pátinas homogéneas de corrosión (Fig. 564). También es posible observar el producto de un proceso avanzado de corrosión a través de límite de grano o intergranular (Fig. 565).

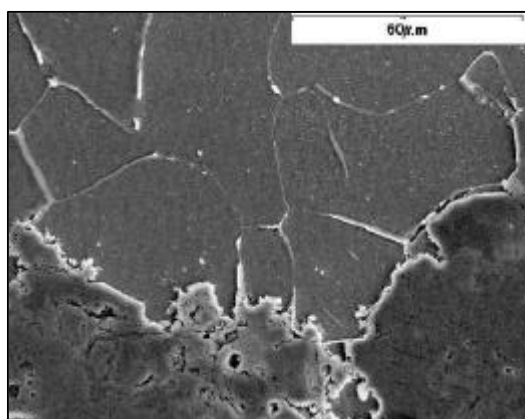


Fig. 564: Corrosión homogénea externa.

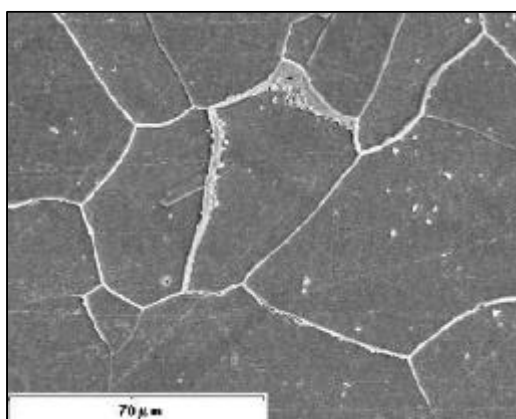


Fig. 565: Corrosión intergranular.

Además en estas zonas, tiene lugar un proceso de precipitación de óxido de hierro a continuación de la escoria en el límite de grano (Figs. 566 y 567).

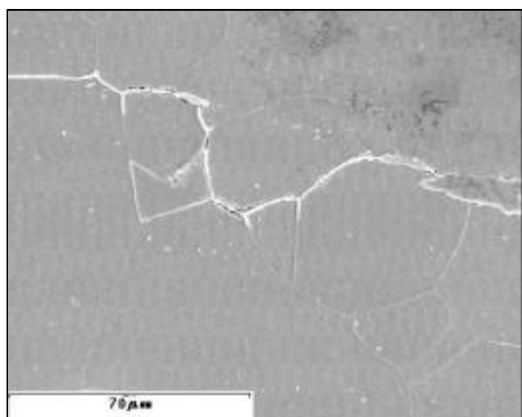


Fig. 566: Óxido de hierro precipitado en límite de grano.

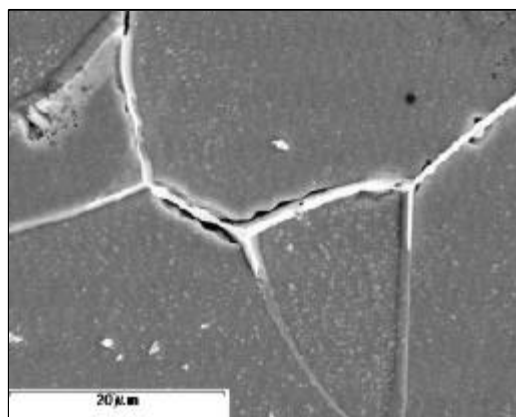


Fig. 567: Detalle de figura 566.

4.2.6.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers obtenidos en la sección longitudinal del objeto (Fig. 568), muestran valores homogéneos, de aproximadamente 115 ± 20 HV (Fig. 569), al igual que el % de carbono que contiene la pieza.

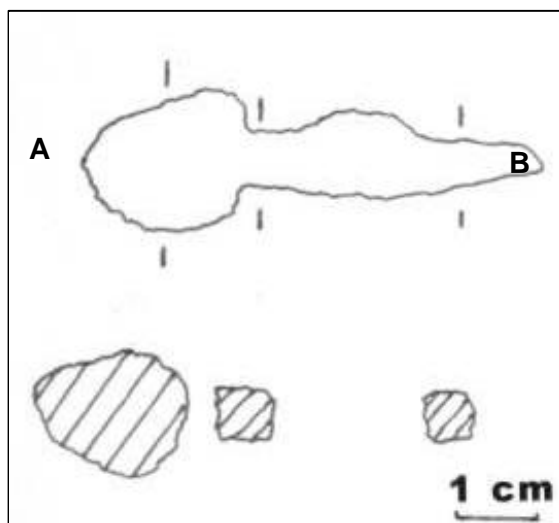


Fig. 568: Esquema del objeto.

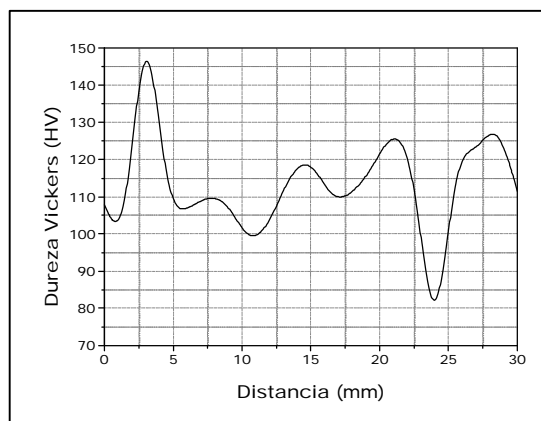


Fig. 569: Perfil de dureza de sección longitudinal AB.

LIV. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 7.*

- 559. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 7.*
- 560. *Fig. : Matriz ferrítica con escorias.*
- 561. *Fig. : Detalle de la escoria*
- 562. *Fig. : Identificación de Wustita.*
- 563. *Fig. : Identificación de masa vítrea*
- 564. *Fig. : Corrosión homogénea externa.*
- 565. *Fig. : Corrosión intergranular.*
- 566. *Fig. : Óxido de hierro precipitado en límite de grano.*
- 567. *Fig. : Detalle de quemado de grano.*
- 568. *Fig. : Esquema del objeto*
- 569. *Fig. : Perfil de dureza de sección longitudinal.*

4.2.7 Clavo nº 7

4.2.7.1. CATALOGACIÓN

El clavo identificado con el número 7 y fue caracterizado según la tabla LV.

Tabla LV: Características físicas del clavo denominado número 7.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Clavo	Hierro	2.87	Nº 7	6.02	5.74	4.49	55.83

Es una pieza de pequeño tamaño (Fig. 570) que debido a su morfología en uno de los extremos, semejante a la cabeza de un clavo, se le denominó como tal.



Fig. 570: Objeto catalogado como clavo número 7.

4.2.7.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Se ha realizado una caracterización microestructural de la sección longitudinal de la pieza. En la zona de cabeza se aprecia una microestructura hipereutectoide (Fig. 571). El contenido en carbono disminuye (Fig. 572) al avanzar por la sección hacia la zona de la punta, donde el tipo de estructura que se presenta es ferrítica con colonias perlíticas en proporción variable (Fig. 573).

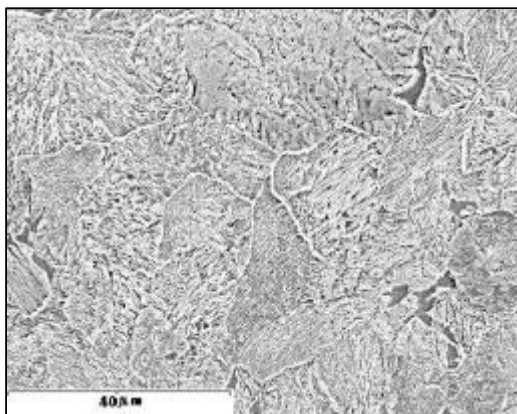


Fig. 571: Matriz hipereutectoide.

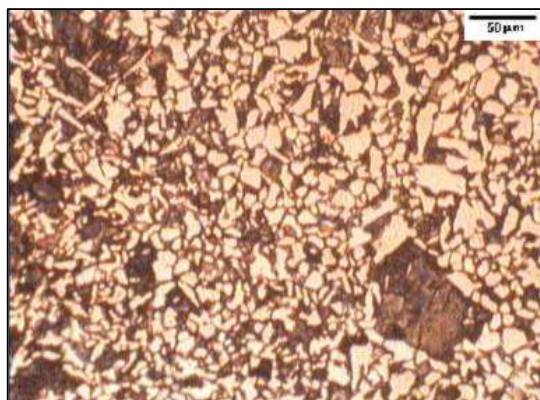


Fig. 572: Matriz ferrítico perlítica.

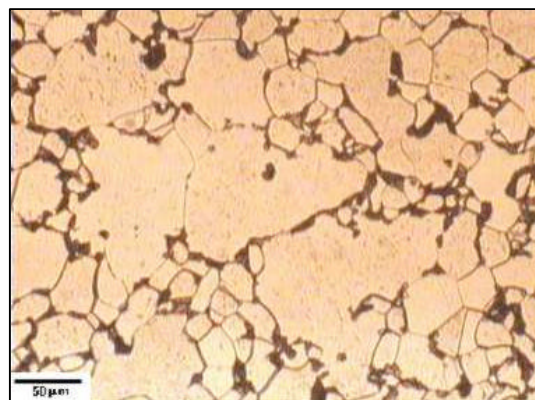


Fig. 573: Matriz ferrítica con pequeñas colonias perlíticas.

En esta última zona, zona de punta, se presenta una microestructura ferrítica con cementita globulizada en límite de grano (Fig. 574). Además, en esta zona, se presentan escorias con morfología alargada (Fig. 575) cuyo análisis mediante EDS, resuelve que está formada por Ca, K, Fe, Mg, Al y Si (Fig. 576).

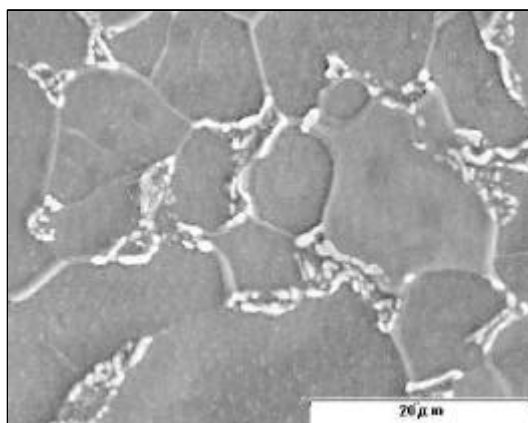


Fig. 574: Cementita globulizada en límite de grano ferrítico.

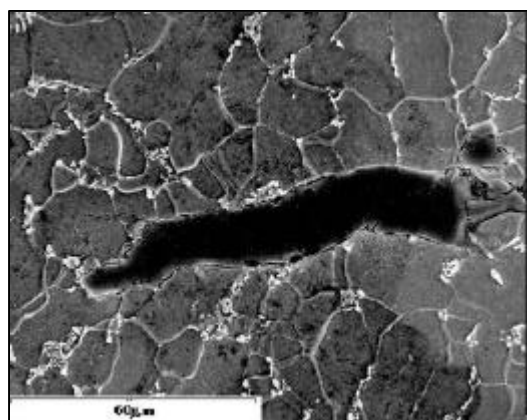


Fig. 575: Escoria dispuesta en matriz.

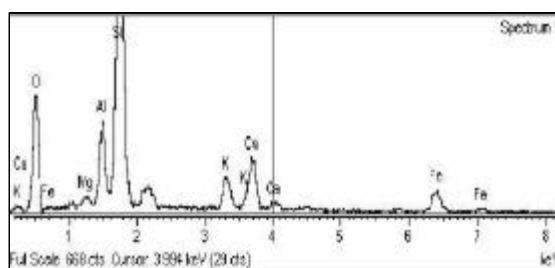


Fig. 576: Análisis EDS de la escoria de la figura 575.

4.2.7.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica del clavo número 7 (Fig. 577), mediante medidas de dureza Vickers, ha sido realizada tanto en la sección transversal de la zona de cabeza, como en la sección longitudinal en la totalidad del clavo.

En la sección longitudinal se observan valores muy homogéneos de 110 ± 15 HV (Fig. 578), observadas en zonas de cabeza, están justificadas con el hecho de que ha podido ser sometida a un tratamiento térmico de globulización como se observa claramente en el estudio microestructural de la zona de punta. Sin embargo, sí que se aprecian valores muy heterogéneos en la zona de cabeza (Fig. 579), en su sección transversal, donde se muestran dos valores extremos de dureza, uno de 95 HV, y otro de aproximadamente 140 HV, posiblemente generados por un fenómeno de aplastamiento de la misma, que dio lugar a la pérdida de las dimensiones y formas típicas de las cabezas de clavos.

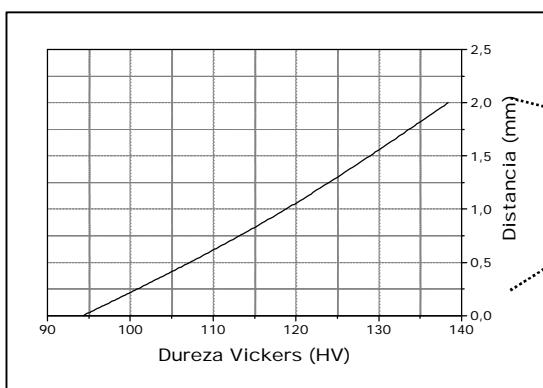


Fig. 579: Perfil de dureza en la sección transversal.

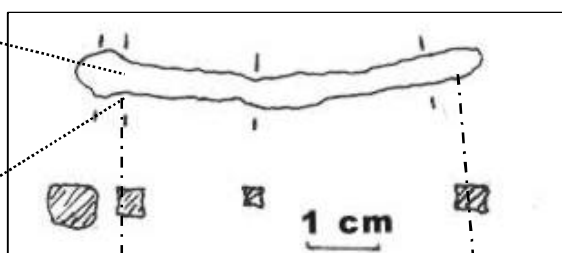


Fig. 577: Esquema del objeto.

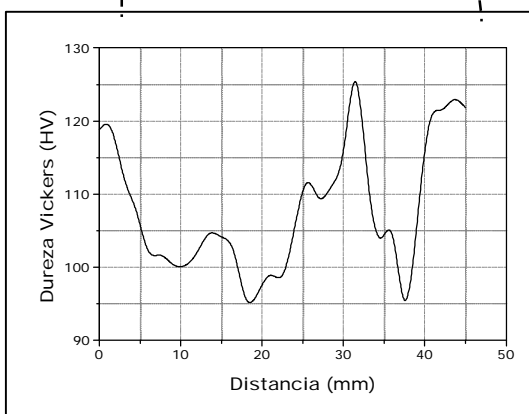


Fig. 578: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

4.2.8 Buril

4.2.8.1. CATALOGACIÓN

El buril fue uno de los objetos incluidos en los hallazgos de la villa de La Tejada. Se trata de una pieza de morfología imprecisa, que impide aseverar la utilidad o su catalogación. Las dimensiones y características físicas quedan reflejadas en la tabla LVI.

Tabla LVI: Características físicas del buril.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Cabeza		Cuerpo	
				ancho	alto	ancho	alto
Buril	Hierro	3.15	Nº 8	11.38	2.80	6.91	61.66

La sección del buril es poligonal en el fragmento más largo, y plana en la sección más corta (Fig. 580).



Fig. 580: Objeto catalogado como buril.

4.2.8.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de este objeto se realizó en la sección longitudinal del mismo. Se trata de una pieza de microestructura 100% ferrítica (Fig. 581) y cementita precipitada en límite de grano (Fig. 582). El tamaño de grano ferrítico es poco homogéneo (Fig. 583).

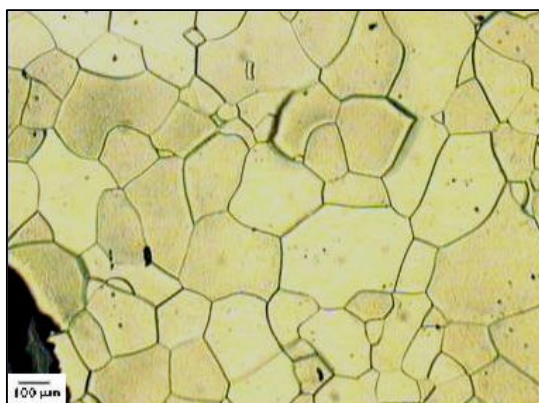


Fig. 581: Matriz ferrítica.

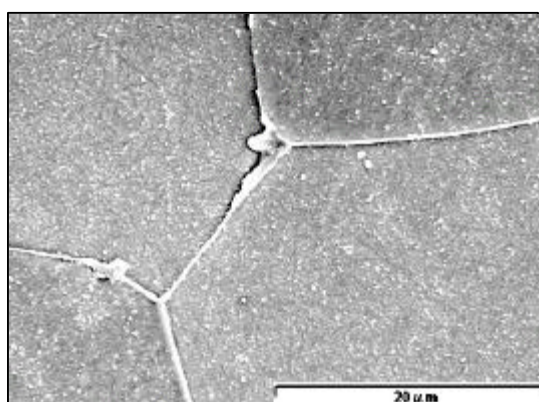


Fig. 582: Ferrita con cementita en límite de grano.

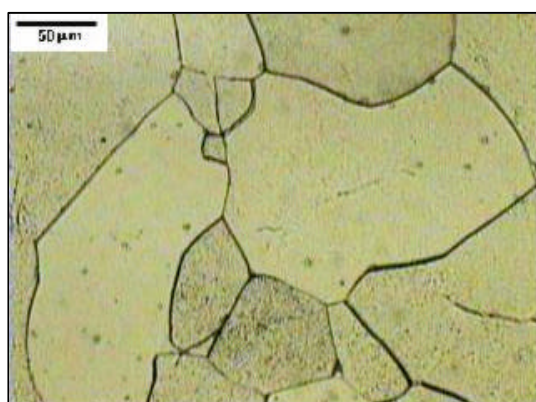


Fig. 583: Ferrita de tamaño de grano heterogéneo.

Las escorias presentes en la matriz (Fig. 584), están formadas por silicato de hierro (fayalita) con manganeso y magnesio en solución sólida (Fig. 585).

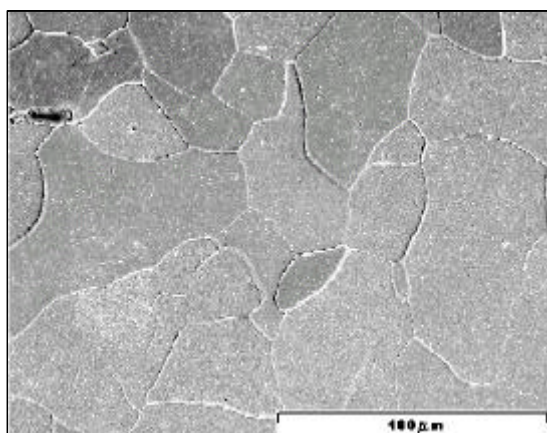


Fig. 584: Ferrita con escorias.

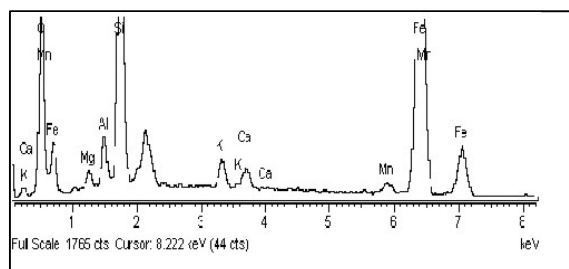


Fig. 585: Análisis EDS de la escoria de la figura 584.

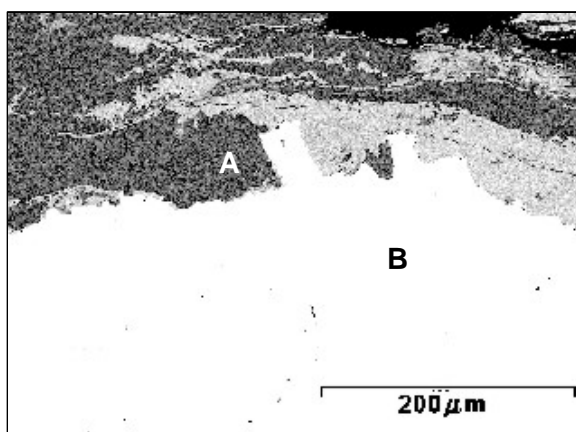


Fig. 586: Imagen de electrones retrodifundidos de la zona de corrosión.

La pátina, o zona de corrosión externa, presenta compuestos de diferente naturaleza, caracterizados por los diferentes tonos o colores asociados a composiciones diferentes (Fig. 586).

El análisis de estos compuestos (Figs. 587 y 588), indican que aunque están formados por los mismos elementos, hierro y oxígeno, la diferencia de tonalidad es debida a la cuantificación de dichos elementos (tabla LVII). Así, la fase más clara (B), probablemente se trate de Fe_2O_3 , indica un contenido en hierro mayor que la fase más oscura (A), formada probablemente por FeOOH .

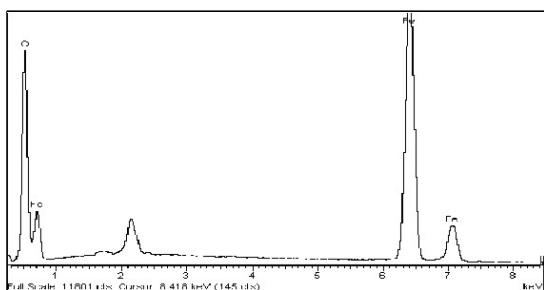


Fig. 587: Identificación EDS de productos de corrosión más oscuros (B), de la figura 586.

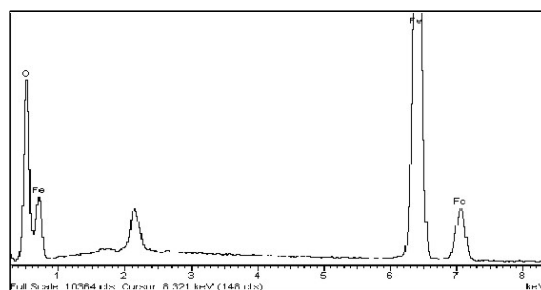


Fig. 588: Identificación EDS de los productos de corrosión más claros (A), de la figura 586.

Tabla LVII: Composición de los productos de corrosión, de la figura 586.

ELEMENTO	% EN PESO	
	Oscura (B)	Clara (A)
O	35.80	26.52
Fe	64.20	73.48
Total	100	100

4.2.8.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers obtenidos en la sección longitudinal del objeto (Fig. 589) se muestran constantes a lo largo de la misma, aunque se aprecia un ligero incremento al aproximarse a la zona de punta (Fig. 590).

El perfil de durezas está de acuerdo con las microestructuras obtenidas, y con el tipo de acero que se presenta, así este objeto presenta valores medios de dureza, correspondientes a microestructuras ferríticas, de 125 ± 40 HV.

Fig. 589: Esquema del objeto.

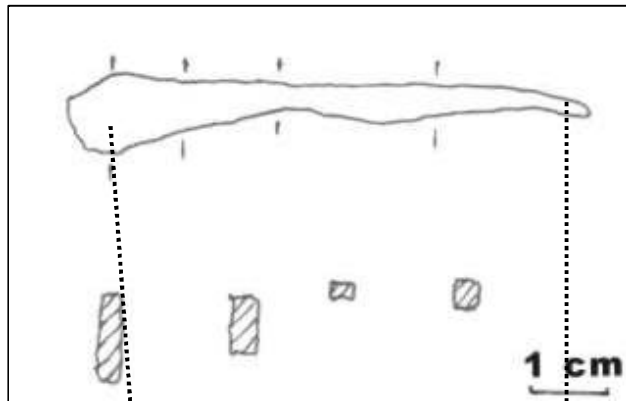
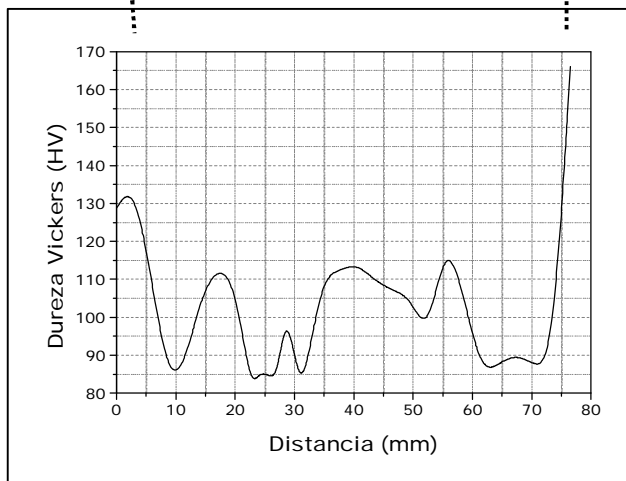


Fig. 590: Perfil de dureza en la sección longitudinal.



LV. *Tabla : Características físicas del clavo denominado número 9.*

- 570. *Fig. : Objeto catalogado como clavo número 9.*
- 571. *Fig. : Matriz ligeramente hipereutectoide.*
- 572. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 573. *Fig. : Matriz ferrítica con pequeñas colonias perlíticas.*
- 574. *Fig. : Cementita globulizada en límite de grano ferrítico.*
- 575. *Fig. : Escoria dispuesta en matriz.*
- 576. *Fig. : Análisis de la escoria.*
- 577. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 578. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal.*
- 579. *Fig. : Perfil de dureza en la sección transversal.*

LVI. *Tabla : Características físicas del buril.*

LVII. *Tabla : Composición de los productos de corrosión.*

- 580. *Fig. : Objeto catalogado como buril.*
- 581. *Fig. : Matriz ferrítica.*
- 582. *Fig. : Ferrita con cementita en límite de grano.*
- 583. *Fig. : Ferrita de tamaño de grano variado.*
- 584. *Fig. : Ferrita con escorias.*
- 585. *Fig. : Análisis de la escoria.*
- 586. *Fig. : Imagen secundarios zona de corrosión.*
- 587. *Fig. : Identificación de productos de corrosión más oscuros.*
- 588. *Fig. : Identificación de los productos e corrosión más claros.*
- 589. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 590. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal.*

4.2.9 Varilla nº 1

4.2.9.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento de pieza fue hallado en la villa de La Tejada, el 18 de febrero del año 1981, en el pozo 1, nivel 1, entre 0 y 2 metros, de profundidad.

Sus características físicas se recogen en la tabla LVIII.

Tabla LVIII: Características físicas de la varilla denominada número 1.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Hierro	5.36	Quintanilla. 18-II-81. Pozo-I. Nivel I. 0-2 m	120.17	4.70

Se trata de un objeto denominado varilla por sus características morfológicas (Fig. 591).



Fig. 591: Objeto catalogado como varilla número 1.

4.2.9.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química mediante técnicas de difracción de rayos x de la varilla, ha sido realizada antes del proceso de consolidación de la misma. Se recogieron las pátinas desprendidas durante el proceso de manipulación de la pieza, así como las tierras que la acompañaban (Fig. 592).

Los picos de intensidad del difractograma (Tabla LIX), quedan identificados como cuarzo SiO_2 (33-1161), calcita CaCO_3 (72-1650) y como akagenita $\text{FeO}(\text{OH})$ (34-1266).

Tanto las fases minerales cuarcíticas, como las cálcicas, forman parte de las arenas que conforman el yacimiento. La akagenita es una fase mineral típica de las pátinas de corrosión.

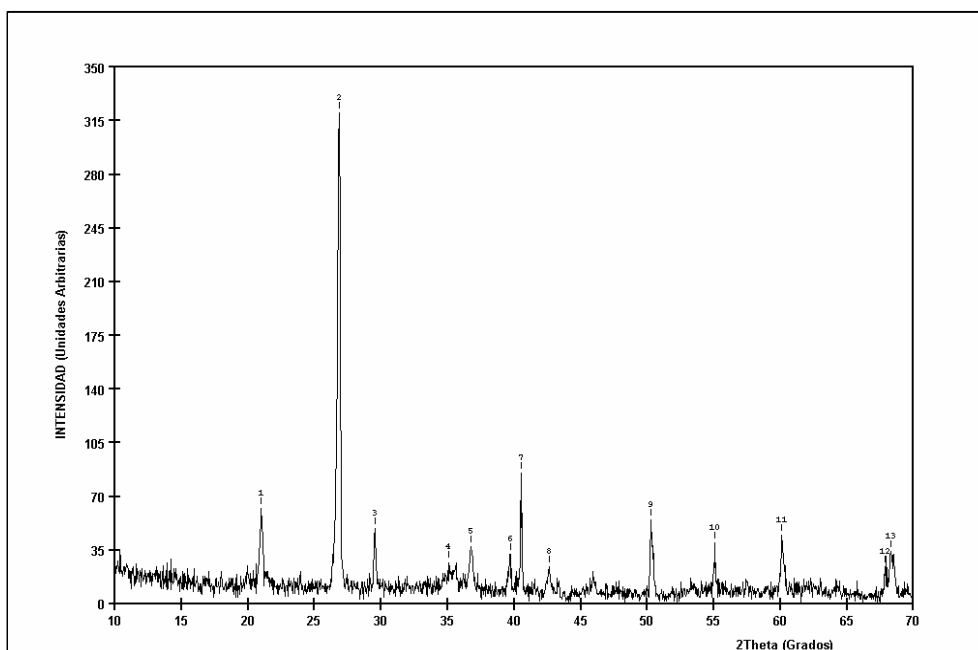


Fig. 592: Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.

Tabla LIX: Identificación de los picos del difractograma de tierras que acompañan a la varilla.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.98	4.234	19.6	SiO ₂	33-1161	1	0	0
2	26.82	3.324	100	FeOOH	34-1266	3	1	0
3	29.54	3.024	15.8	CaCO ₃	72-1650	1	0	4
4	35.06	2.559	7.2	FeOOH	34-1266	2	1	1
5	36.74	2.446	12.4	SiO ₂	33-1161	1	1	0
6	39.66	2.273	10.7	CaCO ₃	72.1650	1	1	3
7	40.50	2.227	21.9	SiO ₂	33-1161	0	1	2
8	42.62	2.121	7.9	SiO ₂	33-1161	2	0	0
9	50.30	1.814	15.8	SiO ₂	33-1161	1	1	2
10	55.06	1.668	9.9	SiO ₂	33-1161	2	0	2
11	60.10	1.540	13.4	SiO ₂	33-1161	2	1	1
12	67.94	1.380	7.9	SiO ₂	33-1161	2	1	2
13	68.34	1.373	10.6	SiO ₂	33-1161	2	0	3

4.2.9.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Esta varilla, esta formada por estructuras con diferentes contenidos en carbono, aisladas y sin correlación entre ellas. Entre ellas pueden ser observadas zonas ferríticas (Fig. 593), ferríticas perlíticas (Fig. 594) y eutectoides (Fig. 595).

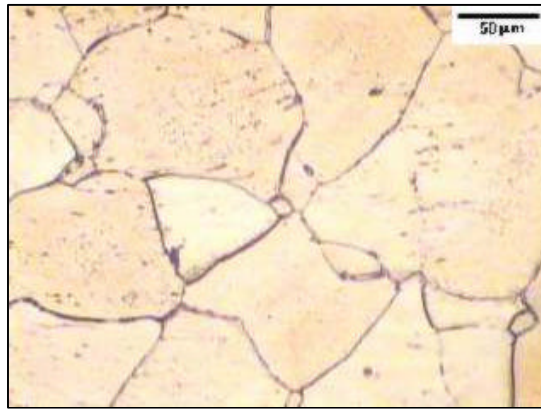


Fig. 593: Matriz ferrítica.



Fig. 594: Matriz ferrítico perlítica.

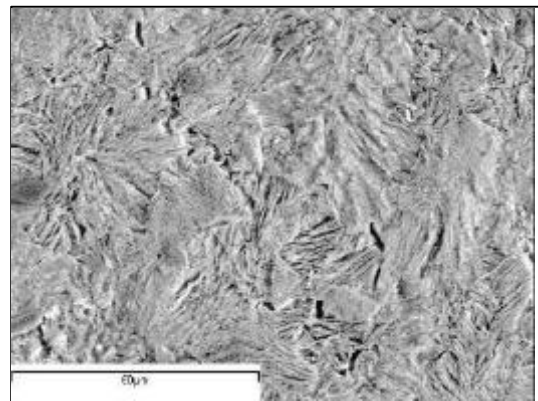


Fig. 595: Matriz eutectoide.

La microestructura ferrítico perlítica se muestra con bandas de cementita precipitada en forma de bandas (Fig. 596 y 597).

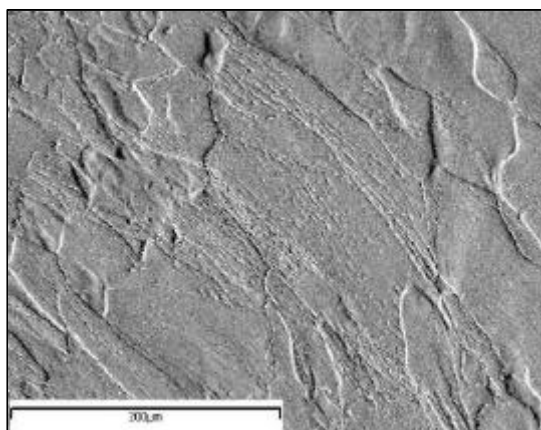


Fig. 596: Bandas de deformación en matriz ferrítico perlítica.

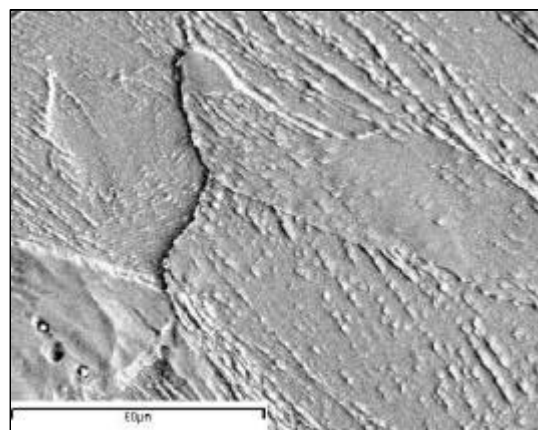


Fig. 597: Cementita precipitada en forma de bandas.

Las escorias que presenta esta pieza (Fig. 598), están formadas por una matriz de naturaleza fayalítica (Fig. 599) y óxido de hierro (wustita) (Fig. 600).

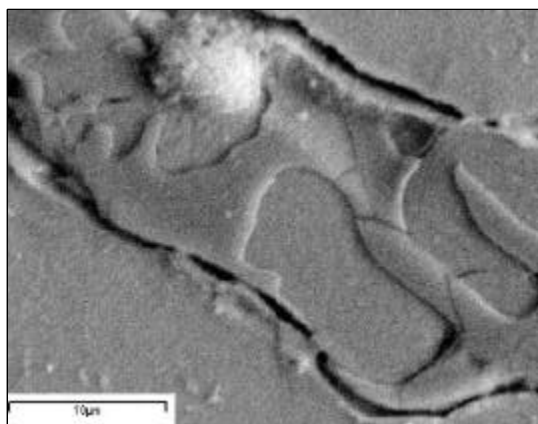


Fig. 598: Escorias en la matriz.

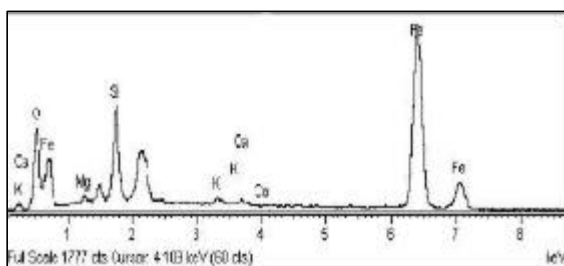


Fig. 599: Análisis EDS de la matriz de la escoria de la figura 598.

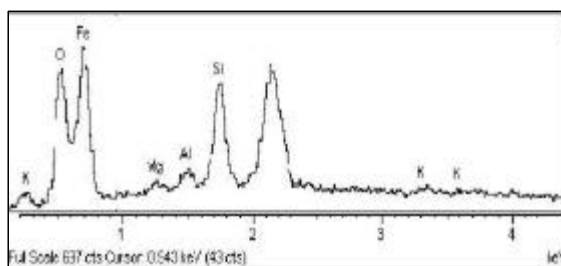


Fig. 600: Análisis EDS de la fase más oscura en la escoria de la figura 598.

4.2.9.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers obtenidos en secciones transversales de esta varilla (Fig. 601), muestran una mayor dureza en los bordes que en el centro de la misma (Fig. 602), aunque son valores muy homogéneos y medios de aproximadamente 150 ± 20 HV.

En una sección longitudinal (Fig. 603), la varilla tiene unos valores constantes de dureza en el intervalo 185 ± 10 HV.

4.2.10 Varilla nº 2

4.2.10.1. CATALOGACIÓN

El fragmento de pieza denominado como varilla número 2 (Fig. 604) fue hallado el 18 de febrero de 1981, en el pozo 1, nivel 1, entre 0 y 2 metros de profundidad, en la villa romana de La Tejada.



Fig. 604: Objeto catalogado como varilla número 2.

Sus características físicas se presentan en la tabla LX.

Tabla LX: Características físicas de la varilla denominada número 2.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Hierro	0.8	Quintanilla. 18-II-81. Pozo-I. Nivel I. 0-2 m	27.22	2.82

4.2.10.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Esta pieza presenta una microestructura ferrítica dado el bajo contenido en carbono que presenta la aleación si bien su tamaño de grano no es homogéneo en todas las áreas (Fig. 605). Hay zonas, donde este contenido en carbono se incrementa (Fig. 606), pasando a presentar microestructuras de un acero de bajo contenido en carbono (menor 0.15%).

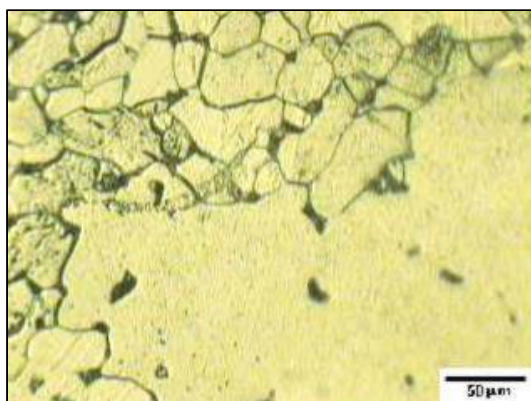


Fig. 605: Ferrita de diferente tamaño de grano.

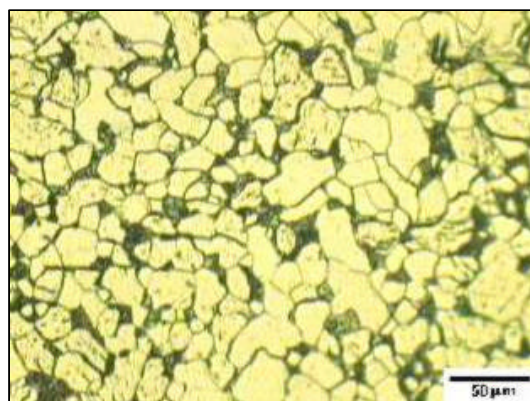


Fig. 606: Microestructura ferrítica con perlita precipitada en límite de grano.

En zonas centrales de toda la sección longitudinal de la pieza se observa una estructura ferrítico perlítica (Fig. 607) cuyo tamaño de grano en las zonas más externas es menor (Fig. 608), probablemente por transformación, como consecuencia de un pequeño aumento del contenido en carbono.

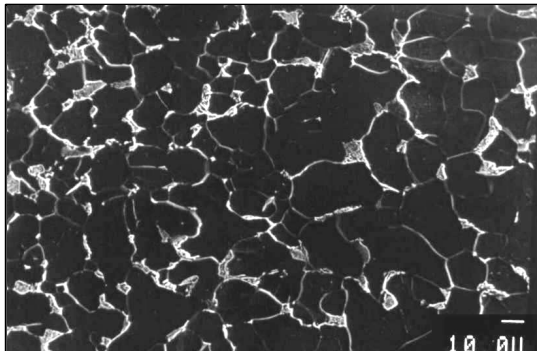


Fig. 607: Microestructura ferrítico perlítica.

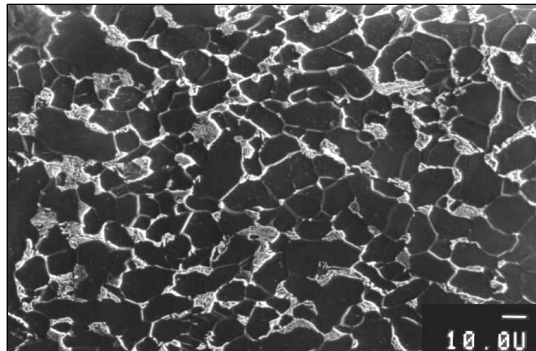


Fig. 608: Microestructura ferrítico perlítica de menor tamaño de grano.

Tanto en las zonas centrales como periféricas de la pieza la perlita es fina (Fig. 609).

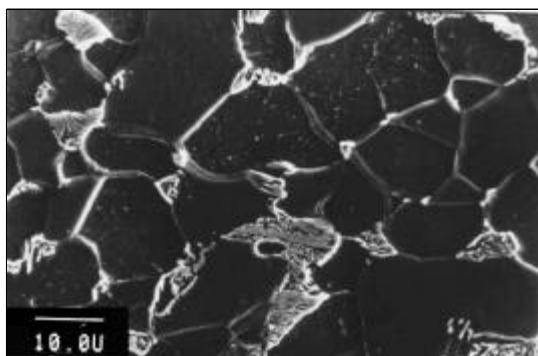


Fig. 609: Colonias de perlita fina.

4.2.10.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La dureza Vickers de este objeto (Fig. 610), ha sido medida en una sección longitudinal del mismo, presentándose valores constantes a lo largo de la longitud (Fig. 611).

Los valores de dureza se encuentran entorno a los 100 ± 10 HV, si bien los márgenes superiores de este intervalo de valores, se presentan en la periferia de la varilla, como consecuencia de la disminución en el tamaño de grano de la microestructura.

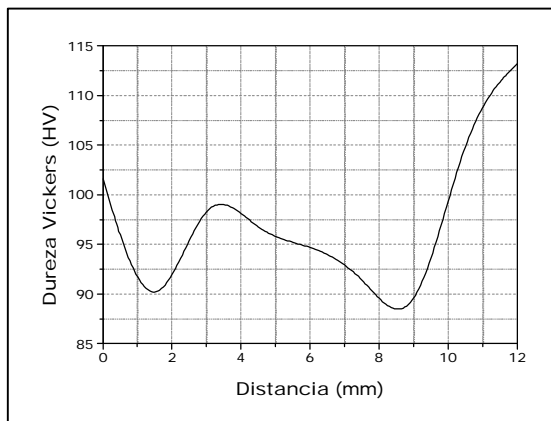


Fig. 611: Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.

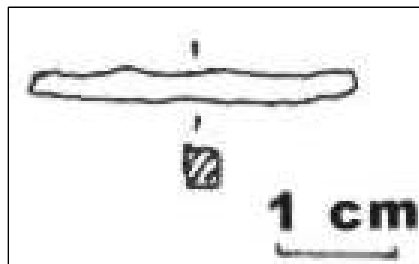


Fig. 610: Esquema del objeto.

4.2.11 Varilla nº 3

4.2.11.1. CATALOGACIÓN

Esta pieza fue descubierta el 18 de febrero de 1981, en el pozo número 1 y el nivel número 1, de la villa de La Tejada, situado entre 0 y 2 metros de profundidad.

Sus dimensiones y características quedan reflejadas en la tabla LXI.

Tabla LXI: Características físicas y dimensiones de la varilla denominada número 3.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Hierro	5.92	Quintanilla. 18-II-81. Pozo-I. Nivel I. 0-2 m	128.56	4.31

La pieza se catalogó como varilla, dada su morfología (Fig. 612). Las secciones de esta pieza son rectangulares presentando una reducción de la misma en uno de los extremos. En la zona central cerca del extremo más ancho, la pieza presenta una curvatura o fractura parcial.



Fig. 612: Objeto catalogado como varilla número 3.

4.2.11.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La varilla presenta una microestructura de acero hipoeutectoide, matriz ferrítica con precipitación de colonias perlíticas en límite de grano (Fig. 613). Además, en algunas zonas se observó la presencia de escorias longitudinalmente dispuestas (Fig. 614).

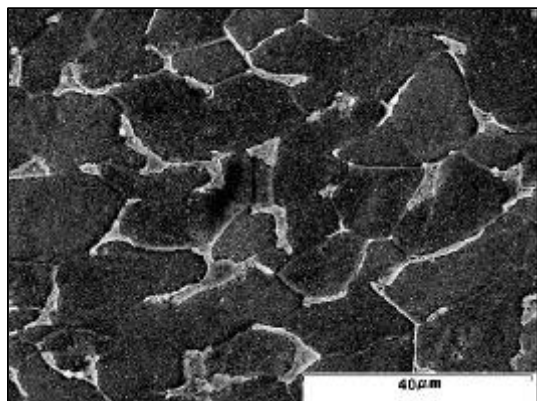


Fig. 613: Microestructura de acero hipoeutectoide.

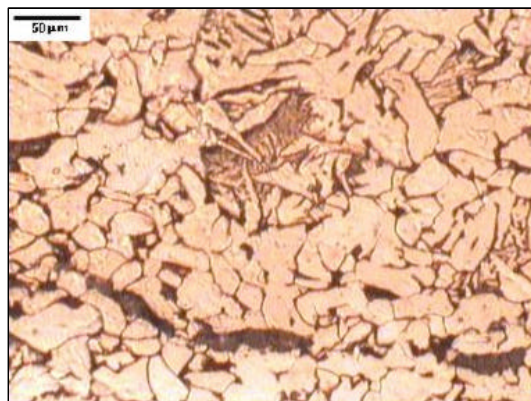


Fig. 614: Matriz con colonias perlíticas y escorias direccionadas.

El grano suele aparecer muy deformado en las zonas periféricas de esta pieza (Fig. 615), igualmente las escorias que coexisten en estas zonas también tienen un alto grado de deformación y grietas.

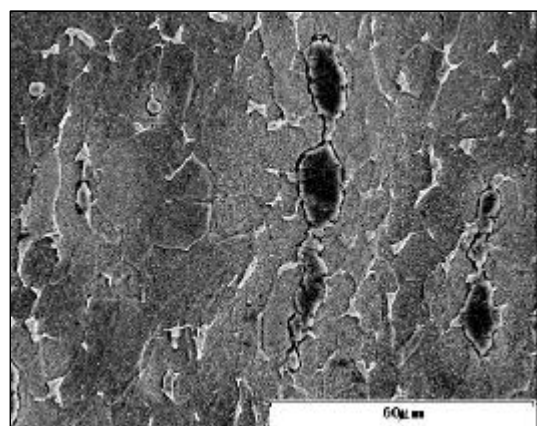


Fig. 615: Microestructura hipoeutectoide con grano deformado.

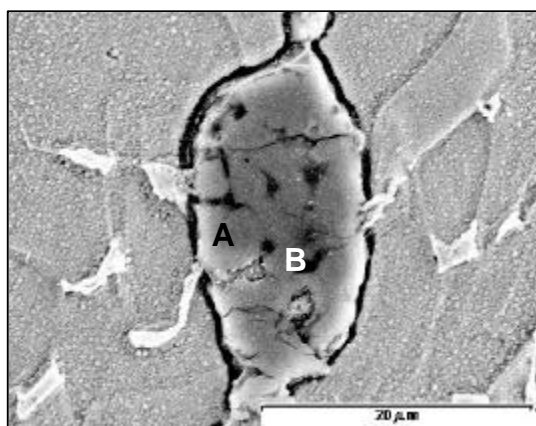


Fig. 616: Escoria en matriz hipoeutectoide.

Las escorias existentes (Fig. 616) presentan dos zonas de distinta composición, si bien ambas tienen elementos comunes mayoritarios, como son el hierro y el oxígeno; la tonalidad más clara, marcada como A en la figura 616, presenta alto contenido en Si (Fig. 617) y la más oscura, marcada como BA en la figura 616, es rica en P (Fig. 618).

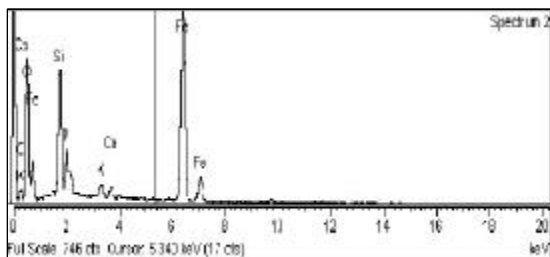


Fig. 617: Análisis EDS de las zonas más claras (A) de la escoria de la figura 616.

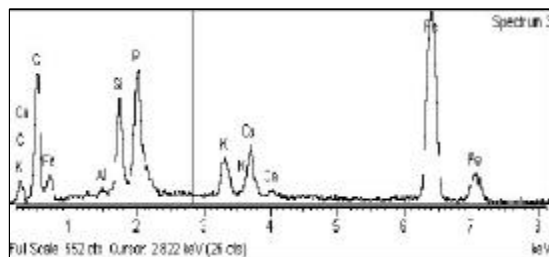


Fig. 618: Análisis EDS de las zonas más oscuras (B) de la escoria de la figura 616.

4.2.11.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que presenta la pieza (Fig. 619), varían en las dos secciones estudiadas. Mientras que la sección longitudinal (Fig. 620) se presentan valores medios aproximados de 201 ± 15 HV, en la sección transversal (Fig. 621) estos valores son de 165 ± 20 HV, asociándose los márgenes superiores de estos valores a las zonas periféricas de las secciones transversales ya que poseen un alto grado de deformación.

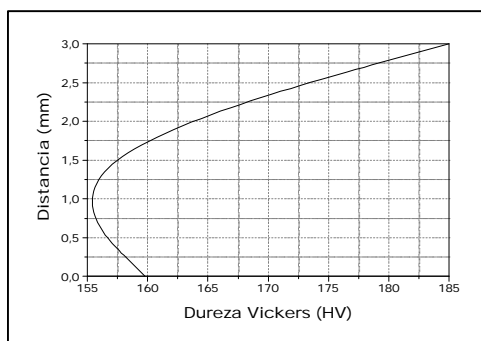


Fig. 621: Perfil de dureza de la sección transversal de la pieza.

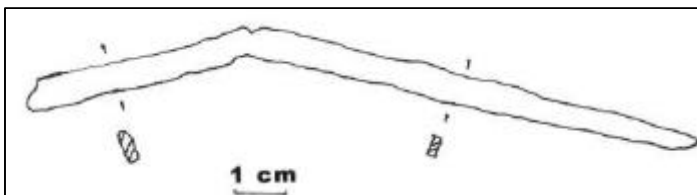


Fig. 619: Esquema del objeto.

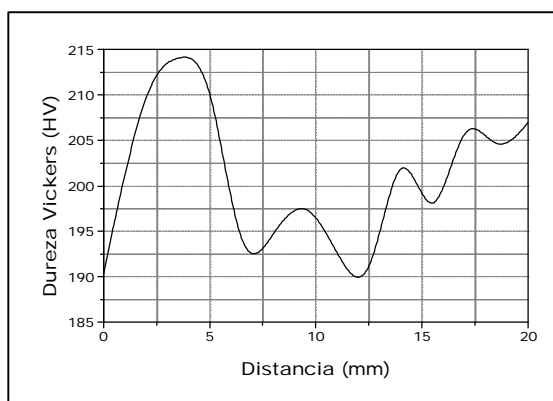


Fig. 620: Perfil de dureza de la sección longitudinal de la pieza.

LVIII. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 5.*

LIX. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan a la varilla.*

- 591. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 5.*
- 592. *Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.*
- 593. *Fig. : Matriz ferrítica.*
- 594. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 595. *Fig. : Matriz eutectoide.*
- 596. *Fig. : Bandas de deformación en matriz ferrítico perlítica.*
- 597. *Fig. : Cementita globulizada en las bandas de deformación.*
- 598. *Fig. : Escorias en la matriz.*
- 599. *Fig. : Análisis de la matriz.*
- 600. *Fig. : Análisis de la fase más oscura.*
- 601. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 602. *Fig. : Perfil de dureza en la sección transversal de la pieza.*
- 603. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.*

LX. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 6.*

- 604. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 6.*
- 605. *Fig. : Ferrita de diferente tamaño de grano.*
- 606. *Fig. : Microestructura ferrítica con perlita precipitada en límite de grano.*
- 607. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 608. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica de menor tamaño de grano.*
- 609. *Fig. : Colonias de perlita fina.*
- 610. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 611. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.*

LXI. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 7.*

- 612. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 7.*
- 613. *Fig. : Microestructura de acero hipoeutectoide.*
- 614. *Fig. : Matriz con colonias perlíticas y escorias direccionadas..*
- 615. *Fig. : Microestructura con grano deformado.*
- 616. *Fig. : Escoria en matriz hipoeutectoide.*
- 617. *Fig. : Análisis de las zonas más claras.*
- 618. *Fig. : Análisis de las zonas más oscuras.*
- 619. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 620. *Fig. : Perfil de dureza de la sección longitudinal de la pieza.*
- 621. *Fig. : Perfil de dureza de la sección transversal de la pieza.*

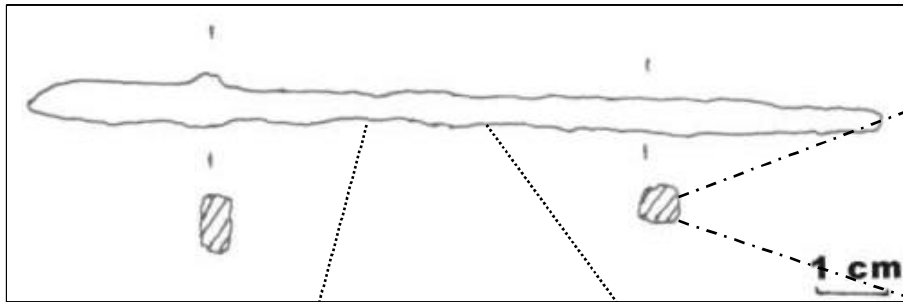


Fig. 601: Esquema del objeto.

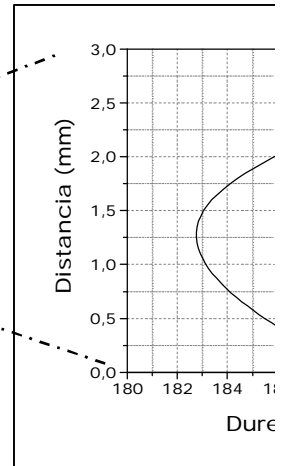


Fig. 602: Perfil de dureza en la sección transversal de la pieza.

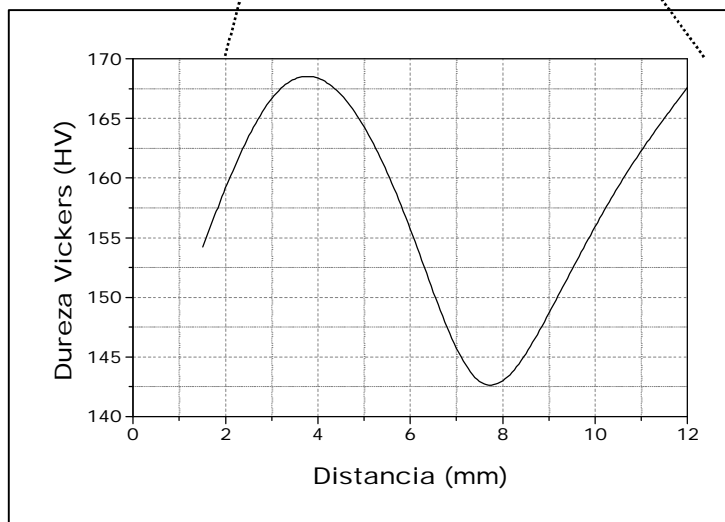


Fig. 603: Perfil de dureza en la sección longitudinal de la pieza.

4.2.12 Varilla nº 4

4.2.12.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento fue hallado el 18 de Febrero de 1981 en la villa de La Tejada, en el pozo número 1, en el primer nivel a una profundidad entre 0 y 2 metros.

Su identificación y características quedan reflejadas en la tabla LXII.

Tabla LXII: Características físicas de la varilla denominada número 4.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Hierro	2.19	Quintanilla. 18-II-81. Pozo-I. Nivel I. 0-2 m	46.23	4.31

En esta pieza se reconoce una parte de una varilla, por su morfología y características externas (Fig. 622), sistema de identificación utilizado en gran parte de las piezas encontrada en la villa de La Tejada.



Fig. 622: Objeto catalogado como varilla número 4.

4.2.12.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

El objeto presenta zonas microestructurales, paralelamente dispuestas a la directriz de la pieza, y claramente diferenciadas. Una ferrítica en la zona interna (Fig. 623) y otra

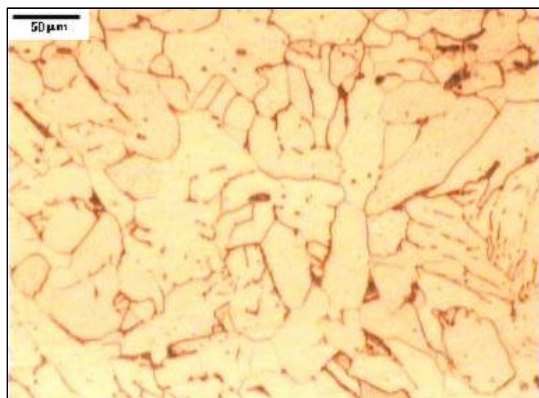


Fig. 623: Matriz ferrítica.

ferrítico perlítica (Fig. 624) con distintos contenidos en ferrita Widmanstätten (Fig. 625) en las zonas periféricas de la varilla.

En la microestructura ferrítica (Fig. 626) y a mayores aumentos, se distinguen zonas de precipitación de pequeñas colonias perlíticas en límite de grano (Fig. 627), con lo que se verifica el bajo contenido en carbono de esta capa interna.

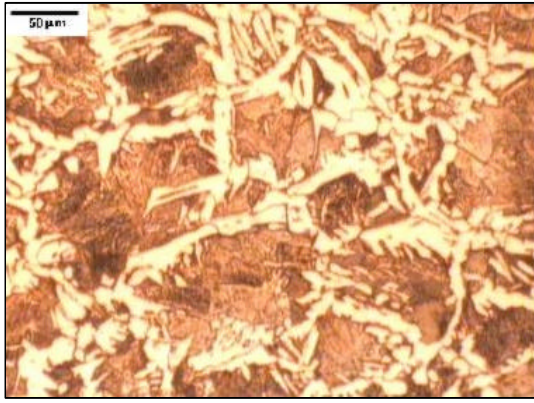


Fig. 624: Matriz ferrítico perlítica, en zona longitudinal intermedia.

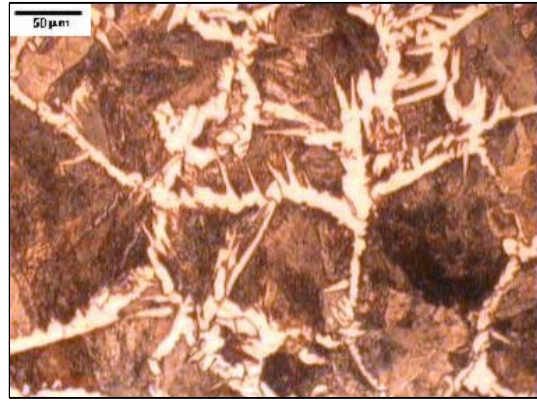


Fig. 625: Matriz ferrítico perlítica con disminución del contenido de ferrita, en zona periférica de la varilla.

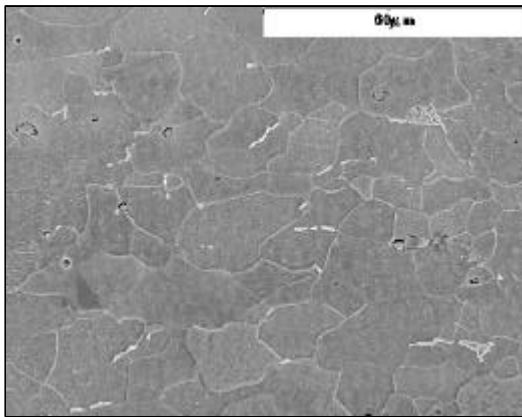


Fig. 626: Microestructura ferrítica.

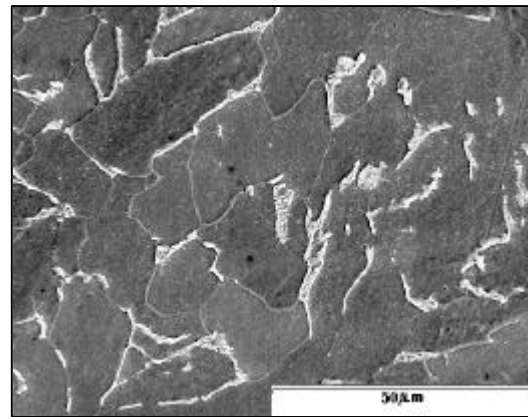


Fig. 627: Microestructura ferrítico perlítica.

En las zonas periféricas de la pieza el contenido en carbono ha sido incrementado presentando estructuras prácticamente eutectoides, si bien en límite de grano la ferrita no transformada presenta estructura Widmanstätten (Fig. 628). Además, en estas zonas, pueden ser observas variaciones microestructurales debidos a fenómenos de recrystalización (Fig. 629).

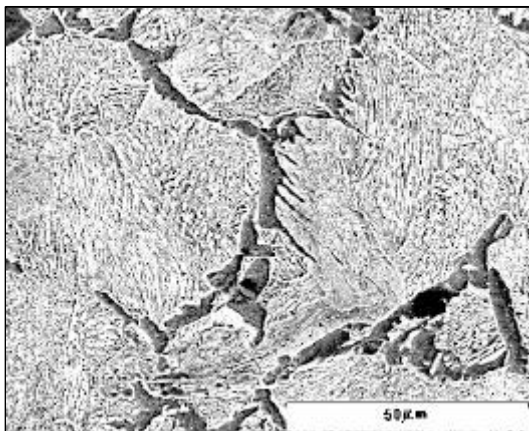


Fig. 628: Ferrita con estructura Widmanstätten.

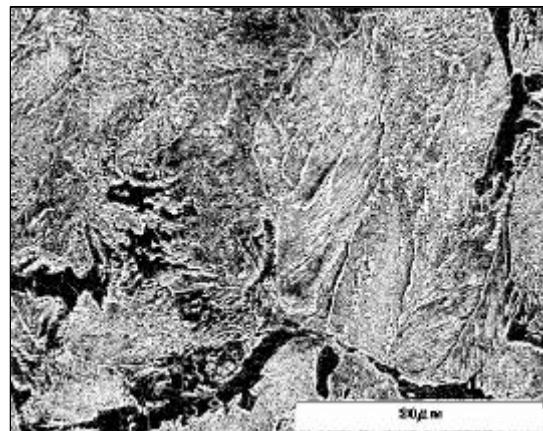


Fig. 629: Microestructura con recrystalización del grano.

Junto con las variaciones microestructurales ya comentadas, las zonas externas de la pieza presentan pátinas generadas por dos mecanismos diferentes, corrosión generalizada e intragranular (Figs. 630 y 631).

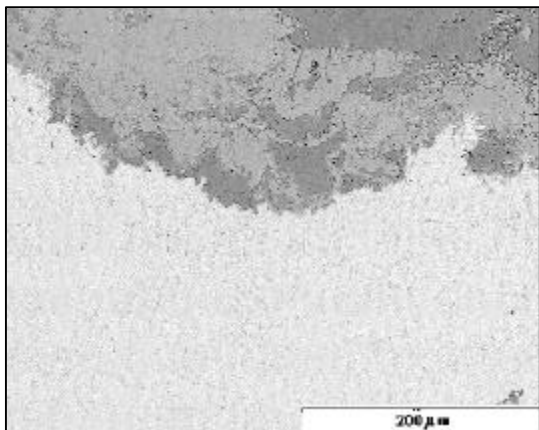


Fig. 630: Retrodifundidos de pátinas de corrosión.

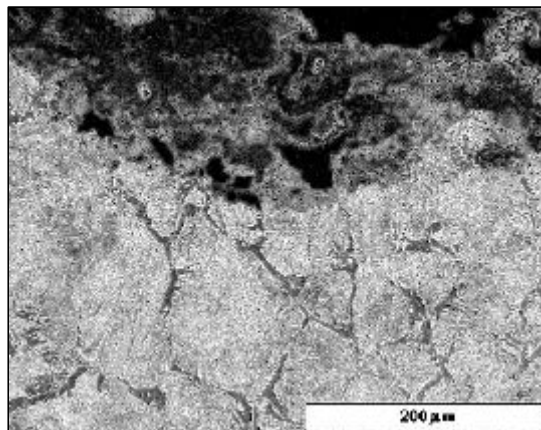


Fig. 631: Pátina de corrosión.

4.2.12.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que presenta la pieza (Fig. 632) son muy heterogéneos. Se observa una zona de la misma donde los valores toman un valor superior a los de la otra zona (Fig. 633), debido a que existe una disposición de capas de aceros con diferente contenido en carbono. Así se presentan valores medios de 110 ± 10 HV en microestructuras de bajo contenido en carbono, y valores medios de 160 ± 20 HV, en las microestructuras con mayor contenido en carbono.

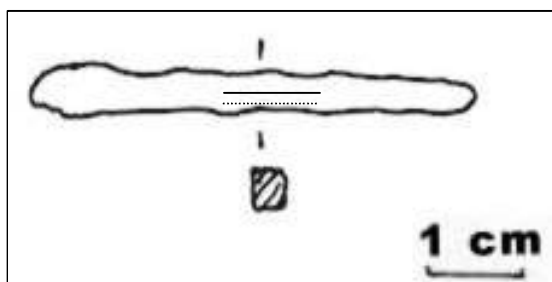


Fig. 632: Esquema del objeto.

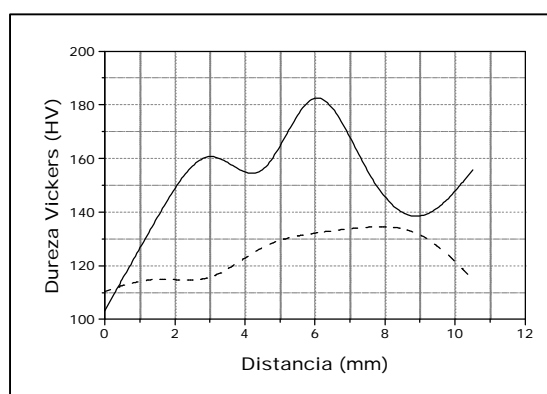


Fig. 633: Perfil de dureza de dos secciones longitudinales diferentes.

LXII. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 8.*

- 622. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 8.*
- 623. *Fig. : Matriz ferrítica.*
- 624. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica.*
- 625. *Fig. : Matriz ferrítico perlítica con disminución del contenido de ferrita.*
- 626. *Fig. : Microestructura ferrítica.*
- 627. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica.*
- 628. *Fig. : Ferrita con estructura Widdmanstätten.*
- 629. *Fig. : Microestructura con recristalización del grano.*
- 630. *Fig. : Secundarios de pátinas de corrosión.*
- 631. *Fig. : Pátina de corrosión.*
- 632. *Fig. : Esquema del objeto.*
- 633. *Fig. : Perfil de dureza de dos secciones longitudinales diferentes.*

4.2.13 Varilla nº 5

4.2.13.1. CATALOGACIÓN

Este objeto, perteneciente a los hallazgos de la villa de La Tejada, fue encontrado en el año 1976, y sus características físicas se presentan en la tabla LXIII. Se trata de un fragmento de un objeto, que ha sido catalogado como varilla (Fig. 634).

Tabla LXIII: Características físicas de la varilla denominada número 5.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Hierro	0.78	Quintanilla 76. Sur. Junto a cede	30.80	3.16



Fig. 634: Objeto catalogado como varilla número 5.

4.2.13.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Esta pieza fue fabricada en acero, con alto contenido en carbono (hipoeutectoide), si bien su composición varía a lo largo de toda la pieza, observándose las consecuentes variaciones microestructurales. Los mayores contenidos en carbono son mostrados en las zonas internas de la pieza, quedando reducido el contenido en este elemento en las zonas periféricas de la misma. Así, en los extremos se muestran zonas perlítico ferríticas, unos de mayor contenido en perlita (Fig. 635) y otras de mayor contenido en ferrita (Fig. 636).



Fig. 635: Microestructura perlítico ferrítica rica en perlita.

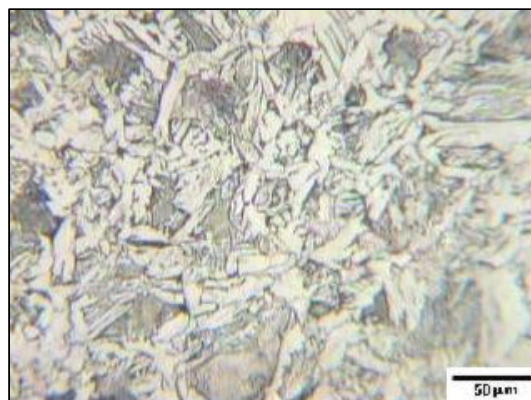


Fig. 636: Microestructura ferrítico perlítica rica en ferrita.

En las zonas centrales de la pieza se aprecia un enriquecimiento en carbono y, por tanto, aparecen zonas con mayor porcentaje en perlita, llegando incluso a formarse microestructuras de acero cuasi eutectoides (Fig. 637).

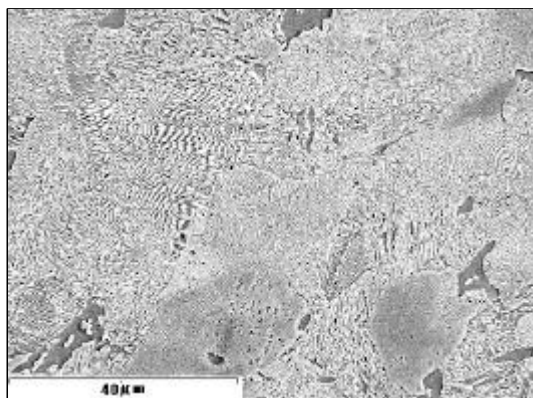


Fig. 637: Microestructura casi eutectoide.

Esta pieza muestra diferentes tipos de escorias, unas con morfología poligonal (Fig. 638) formadas por Al, Si y O como elementos mayoritarios, junto con pequeñas cantidades de Fe, Ca, K y Mg, (Fig. 639). Otras, con morfología alargada (Fig. 640) que están formadas por los mismos elementos, pero donde el Fe junto con el O se presentan en mayor proporción (Fig. 641).

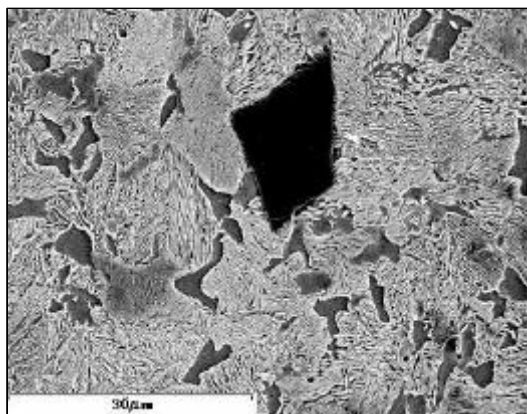


Fig. 638: Escoria con morfología idiomórfica.

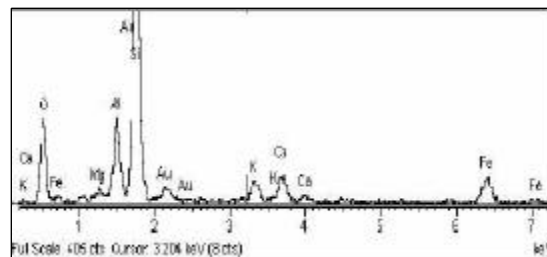


Fig. 639: Análisis EDS de la escoria poligonal de la figura 638.

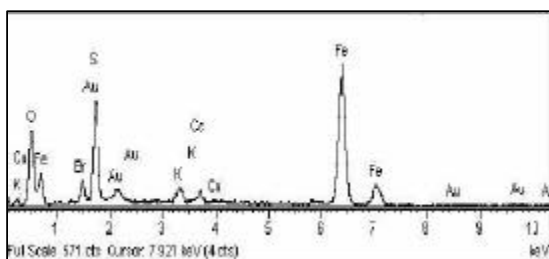


Fig. 641: Análisis EDS de escorias alargadas de la figura 640.

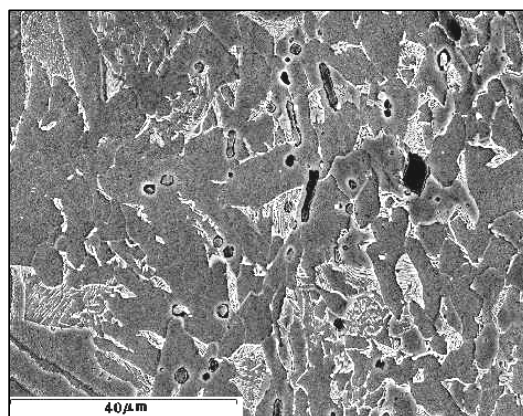


Fig. 640: Escorias de morfología alargada.

4.2.13.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers tomados tanto en secciones longitudinales como transversales de la pieza (Fig. 642) presentan unas tendencias muy distintas de unas zonas a otras. Así, tenemos valores medios de 250 HV en su sección longitudinal (Fig. 643), si bien en la zona de punta los valores de dureza disminuyen drásticamente, correspondiéndose estas zonas con regiones de más bajo contenido en carbono por ser una zona periférica y además, están asociados a microestructuras ferrítico perlíticas donde el porcentaje de perlita es uno de los más bajos localizados en esta pieza.

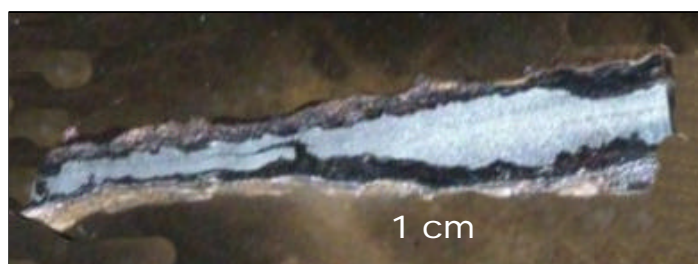


Fig. 642: Fragmento del objeto.

En la sección transversal los valores medios encontrados son del mismo orden que los obtenidos en la sección longitudinal, sin embargo son observados claramente un máximo y un mínimo, que se corresponden con zonas internas de la pieza con microestructura eutectoide y con zonas periféricas ferrítico perlíticas con porcentajes variables de perlita, respectivamente. (Fig. 644).

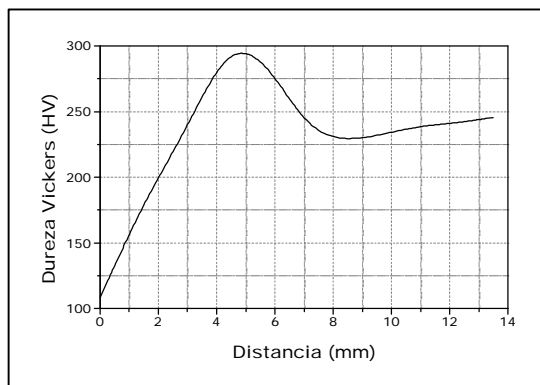


Fig. 643: Perfil de dureza en la sección longitudinal de la probeta.

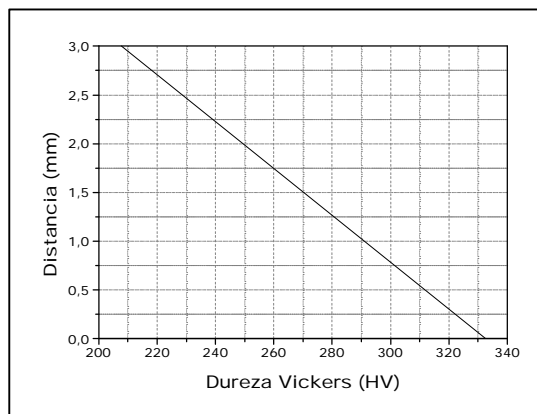


Fig. 644: Perfil de dureza en la sección transversal de la probeta.

4.2.14 Varilla nº 6

4.2.14.1. CATALOGACIÓN

Este objeto fue hallado en el cuadro extensión “A” de la villa de La Tejada, en el año 1976, y catalogado según la tabla LXIV.

Tabla LXIV: Características físicas de la varilla denominada número 6.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)			
				Parte Larga		Parte Corta	
				ancho	largo	ancho	largo
Varilla	Hierro	4.76	Quintanilla 76. Cuadro extensión A.	5.64	53.47	6.43	31.37



Fig. 645: Objeto catalogado como varilla número 6.

La pieza se catalogó, siguiendo la sistemática llevada a cabo hasta ahora, como varilla debido a su morfología y aspecto externo (Fig. 645).

4.2.14.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Esta pieza esta fabricada en hierro, tiene muy bajo contenido en carbono (menor de un 0.02%) lo que le confiere una microestructura prácticamente ferrítica en su totalidad. El tamaño de grano de esta pieza es considerable (Fig. 646).

Una característica de esta pieza es la presencia de cementita precipitada tanto en límite de grano como dentro del grano ferrítico (Fig. 647).



Fig. 646: Matriz ferrítica de gran tamaño de grano.

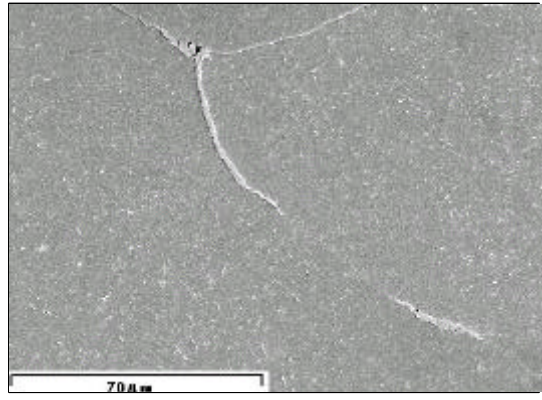


Fig. 647: Ferrita con cementita precipitada en el seno y en el límite del grano.

Los carburos de hierro precipitados intragranularmente, presentaban diferentes tamaños y morfologías (Figs. 648 y 649).

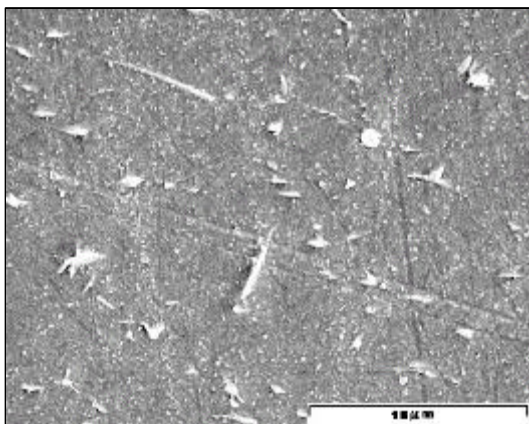


Fig. 648: Carburos precipitados en el grano.

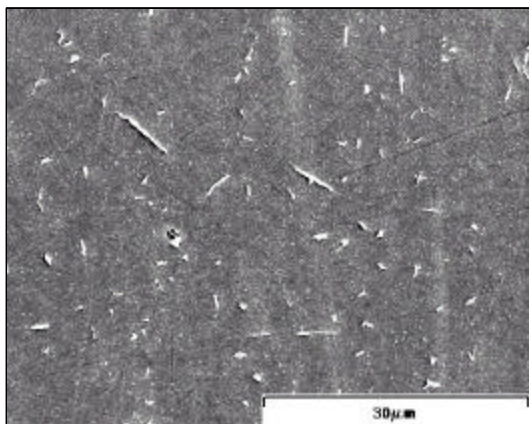


Fig. 649: Carburos precipitados en el grano.

4.2.14.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La dureza Vickers de esta pieza ha sido medida, tanto en la sección transversal como en la longitudinal (Fig. 650).

Los valores de la sección transversal muestran un ligero incremento, del orden de 20 HV, en la periferia de la misma. Las zonas internas muestran los menores valores de dureza (130 HV) (Fig. 651).

Estas tendencias pueden ser explicadas por la aparición de cementita en la matriz ferrítica de las zonas externas de la pieza.

En una sección longitudinal, la dureza toma unos valores medios aproximados de 140 ± 30 HV (Fig. 652), explicándose esta tendencia en función del contenido en C al igual que sucedía en los perfiles de dureza de la varilla número 12.

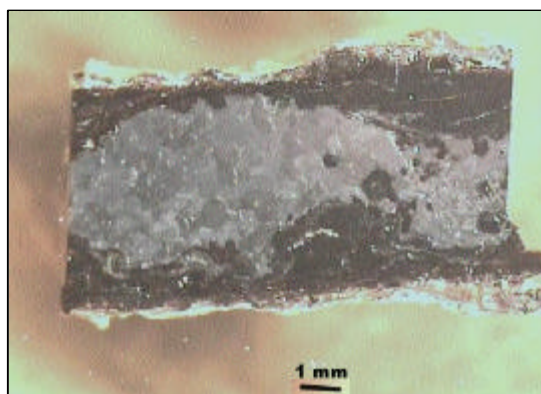


Fig. 650: Macrografía de la probeta.

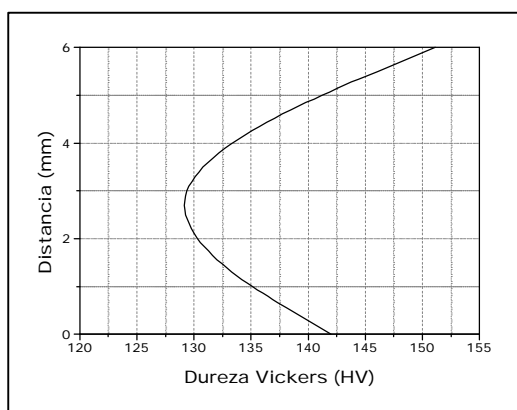


Fig. 651: Perfil de dureza de la sección transversal de la probeta.

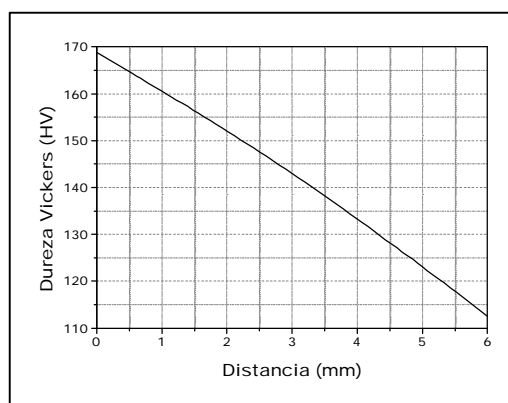


Fig. 652: Perfil de dureza de la sección longitudinal de la probeta.

LXIII. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 12.*

- 634. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 12.*
- 635. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica rica en perlita.*
- 636. *Fig. : Microestructura ferrítico perlítica rica en ferrita.*
- 637. *Fig. : Microestructura casi eutectoide.*
- 638. *Fig. : Escoria con morfología idiomórfica.*
- 639. *Fig. : Análisis de la escoria poligonal.*
- 640. *Fig. : Escorias de morfología alargada.*
- 641. *Fig. : Análisis de escorias alargadas.*
- 642. *Fig. : Fragmento del objeto.*
- 643. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal de la probeta.*
- 644. *Fig. : Perfil de dureza en la sección transversal de la probeta.*

LXIV. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 13.*

- 645. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 13.*
- 646. *Fig. : Matriz ferrítica de gran tamaño de grano.*
- 647. *Fig. : Ferrita con cementita precipitada en el seno y en el límite del grano.*
- 648. *Fig. : Carburos precipitados en el grano.*
- 649. *Fig. : Carburos precipitados en el grano.*
- 650. *Fig. : Macrografía de la probeta.*
- 651. *Fig. : Perfil de dureza de la sección transversal de la probeta.*
- 652. *Fig. : Perfil de dureza de la sección longitudinal de la probeta.*

4.2.15 Varilla nº 7

4.2.15.1. CATALOGACIÓN

Se trata de una varilla que ha sido identificada como 20 de septiembre de 1976, en el Cuadro 6 - 3. Sus propiedades físicas quedan reflejadas en la tabla LXV.

Tabla LXV: Características físicas de la varilla denominada número 7.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	8.43	Quintanilla 76. 20-IX. Cuadro 6-3	138.84	3.54

Esta pieza (Fig. 653) posee una sección circular, en toda su extensión.



Fig. 653: Objeto catalogado como varilla número 7.

4.2.15.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

Antes del proceso de consolidación fueron recogidas unas muestras de las pátinas que se habían desprendido de la pieza, así como de las tierras que acompañaban a la misma, siendo estas últimas estudiadas mediante difracción de rayos x (Fig. 654).

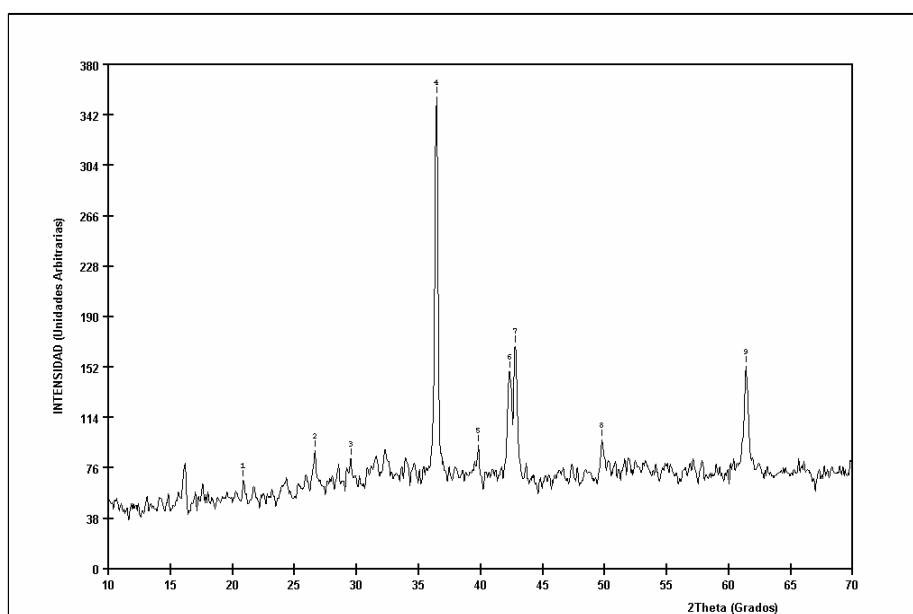


Fig. 654: Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.

Los picos de intensidad del difractograma (Tabla LXVI) quedan identificados como cuarzo SiO_2 (33-1161) y cuprita Cu_2O (78-2076).

Tabla LXVI: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan a la varilla.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2θ)	Espaciado. (\AA)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.86	4.258	18.82	SiO_2	33-1161	1	0	0
2	26.62	3.349	25	SiO_2	33-1161	1	0	1
3	29.54	3.024	23.3	Cu_2O	78-2076	1	1	0
4	36.42	2.467	100	Cu_2O	78-2076	1	1	1
5	39.82	2.264	26.1	SiO_2	33-1161	1	0	2
6	42.34	2.135	41.8	Cu_2O	78-2076	2	0	0
7	42.78	2.114	47.2	SiO_2	33-1161	2	0	1
8	49.78	1.832	27.2	SiO_2	33-1161	1	1	2
9	61.38	1.510	42.9	Cu_2O	78-2076	2	2	0

El cuarzo resulta ser una fase mineral presente en las tierras que conforman el yacimiento de La Tejada. La cuprita es una fase oxidada que conforma la pátina de corrosión de la varilla fabricada en bronce.

4.2.15.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de esta varilla ha sido realizada en una sección longitudinal de la misma. Se trata de una pieza de naturaleza base cobre y exactamente, se trata de un bronce de estaño (Fig. 655), con un contenido en estaño bajo de un 8% (Tabla LXVII). La microestructura que presenta de forma mayoritaria esta pieza es de fase a (Fig. 656).

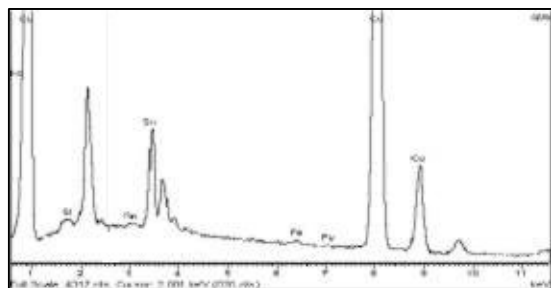


Fig. 655: Identificación de un bronce.

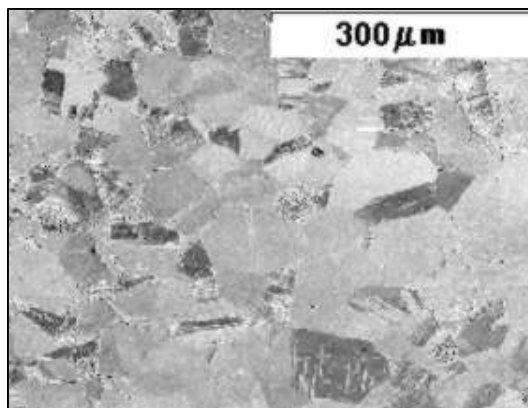


Fig. 656: Microestructura de bronce a.

Tabla LXVII: Composición de la pieza.

ELEMENTO	% EN PESO
Si	0.44
Fe	0.28
Cu	90.94
Sn	8.34
Total	100

A lo largo de la sección longitudinal del objeto, los tamaños de grano son variables, siendo menores en las zonas externas y mayores en las internas de la pieza (Fig. 657), debido el proceso de deformación.



Fig. 657: Matriz con varios tamaños de grano.

La pátina de corrosión mostrada en la zona externa del objeto, es producto de un proceso de corrosión generalizado a lo largo de los años (Fig. 658), en un principio se produjo por degradación en límite de grano debido a fenómenos de corrosión tensión (Fig. 659).

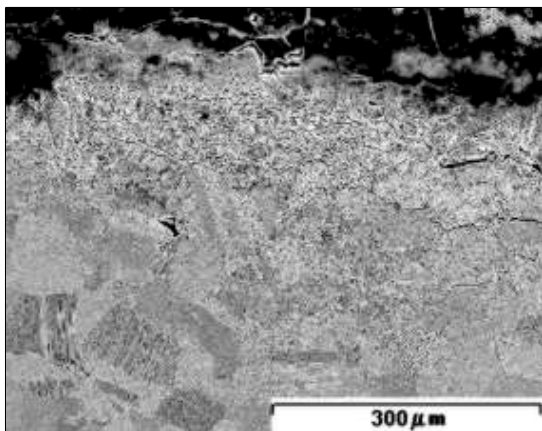


Fig. 658: Matriz con corrosión generalizada.

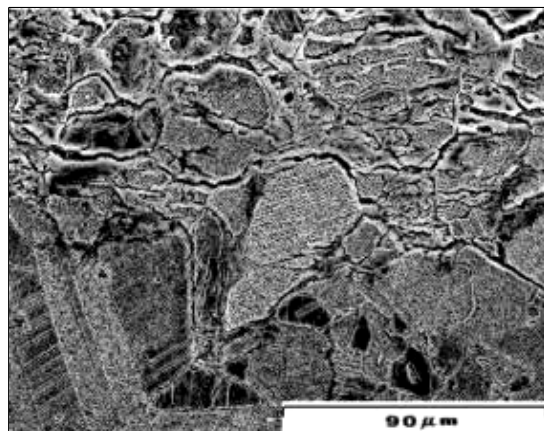


Fig. 659: Zona de corrosión por límite de grano.

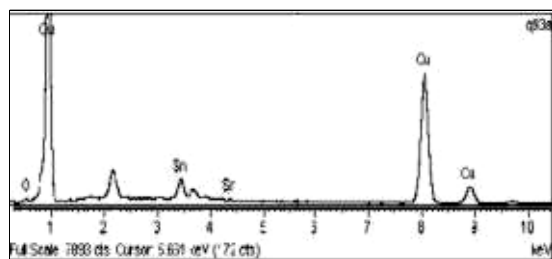


Fig. 660: Análisis de pátinas de corrosión generalizada.

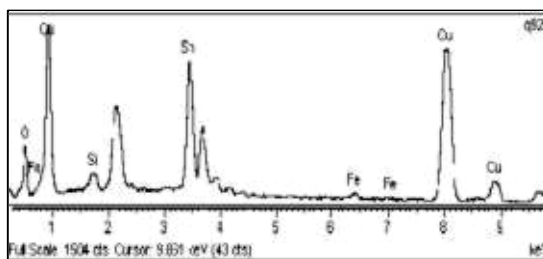


Fig. 661: Análisis de productos de corrosión a través de límite de grano.

El análisis de las zonas de corrosión, indican que están formados por óxidos de Cu y Sn como productos de corrosión generalizada (Fig. 660), además se aprecia la presencia de Fe y Si cuando el proceso de corrosión transcurre a través de límite de grano (Fig. 661), tal vez provocado por la presencia de aguas subterráneas.

4.2.15.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza Vickers tomadas en la pieza objeto de estudio (Fig. 662) son homogéneas, al igual que su composición y microestructura, presentando unos valores medios de 105 ± 10 HV (Fig. 663).

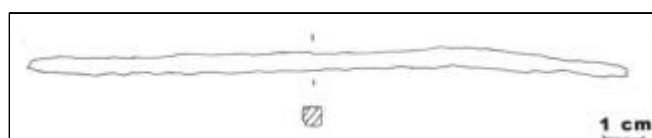


Fig. 662: Esquema del objeto.

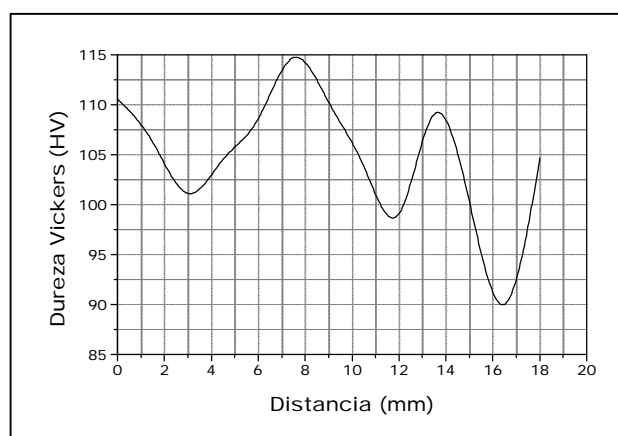


Fig. 663: Perfil de dureza de la sección longitudinal.

- LXV. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 1.*
LXVI. *Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan a la varilla.*
LXVII. *Tabla : Composición de la pieza.*
653. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 1.*
654. *Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.*
655. *Fig. : Identificación de un bronce.*
656. *Fig. : Microestructura de bronce a.*
657. *Fig. : Matriz con varios tamaños de grano.*
658. *Fig. : Matriz con corrosión generalizada.*
659. *Fig. : Zona de corrosión por límite de grano.*
660. *Fig. : Análisis de pátinas de corrosión generalizada.*
661. *Fig. : Análisis de productos de corrosión a través de límite de grano.*
662. *Fig. : Esquema del objeto.*
663. *Fig. : Perfil de dureza de la sección longitudinal.*

Martín, A. Madroñero de la Cal, A. López V. Arqueometalurgia del poblado celtibérico de “Los Castellares”, de Herrera de los Navarros (Zaragoza). *Kalathos* 11-12. Teruel 1991-92, pp; 233-266.

4.2.16 Varilla nº 8

4.2.16.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento de objeto fue encontrado, el 20 de Septiembre de 1976, en la villa de La Tejada, en el cuadro 6 – 3, y como tal fue catalogado. Se trata de una varilla cuyas características físicas quedan reflejadas en la tabla LXVIII.

Tabla LXVIII: Características físicas de la varilla denominada número 8.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	3.24	Quintanilla 76. 20-IX. Cuadro 6-3	52.50	3.23

El objeto presentó un aspecto astilloso y frágil (Fig. 664).



Fig. 664: Objeto catalogado como varilla número 8.

4.2.16.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de la pieza se realiza en la sección longitudinal de la misma. Se trata de una varilla fabricada en bronce, con un contenido aproximado de estaño del 7% (Tabla LXIX), que se corresponde con una microestructura de un bronce a (Fig. 665).

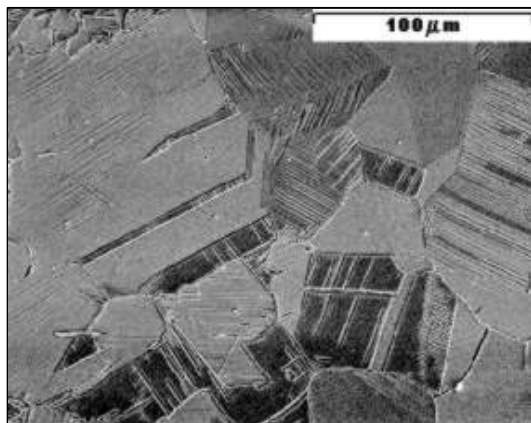


Tabla LXIX: Composición química de la pieza.

ELEMENTO	% EN PESO
Si	0.72
Fe	0.20
Cu	92.04
Sn	7.05
Total	100

Fig. 665: Microestructura de bronce a.

El tamaño del grano de la fase a es irregular siendo más pequeño en las zonas externas que en las internas (Fig. 666).

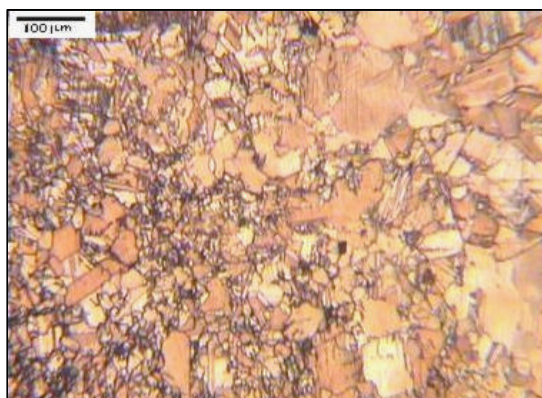


Fig. 666: Tamaño de grano heterogéneo de bronce a.

Las pátinas de corrosión presentes en las zonas externas (Fig. 667) son producto de un proceso de corrosión homogéneo. Éstas están formadas por óxidos de cobre y estaño como productos mayoritarios y como elementos minoritarios identificados el Cl, Si, Ca y Fe (Fig. 668).

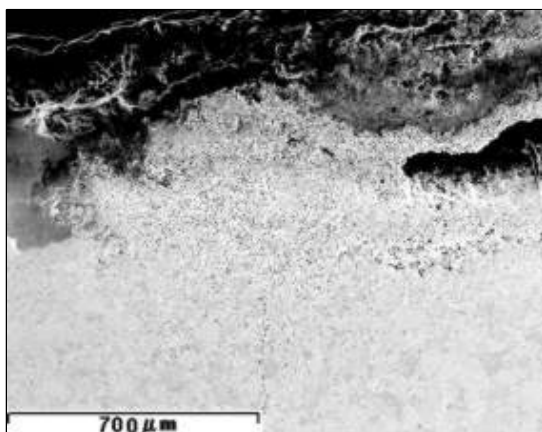


Fig. 667: Zona de corrosión generalizada.

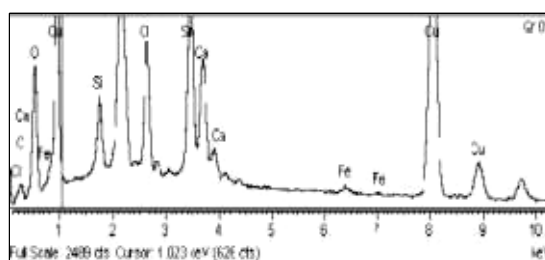


Fig. 668: Identificación de productos de corrosión en la pátina de la figura 667.

Dentro del material se observa como la corrosión transcurre a través de los límite de grano (Fig. 669), los cuales muestran la existencia de Fe y Si como productos de corrosión (Fig. 670).

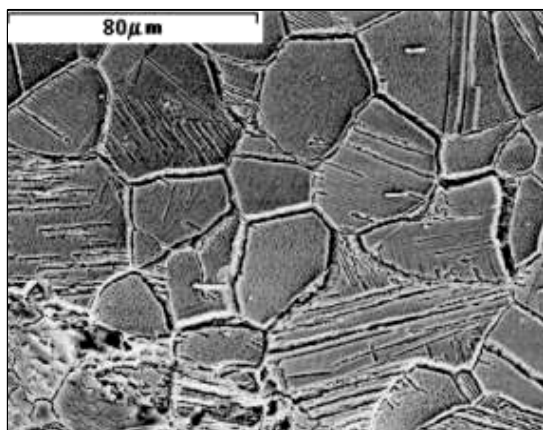


Fig. 669: Corrosión a través de límite de grano.

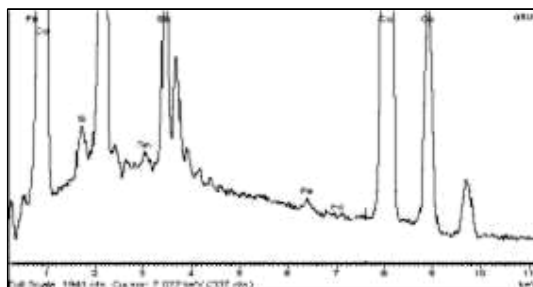


Fig. 670: Identificación EDS de productos de corrosión intergranular.

4.2.16.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers tomados en la sección longitudinal de esta pieza (Fig. 671) son homogéneos y de aproximadamente 110 ± 10 HV (Fig. 672) que se corresponderá con una microestructura de bronce con aproximadamente un 7% en estaño.

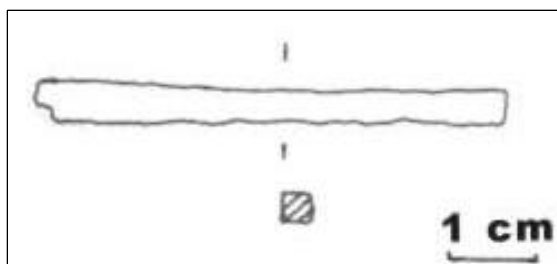


Fig. 671: Esquema del objeto

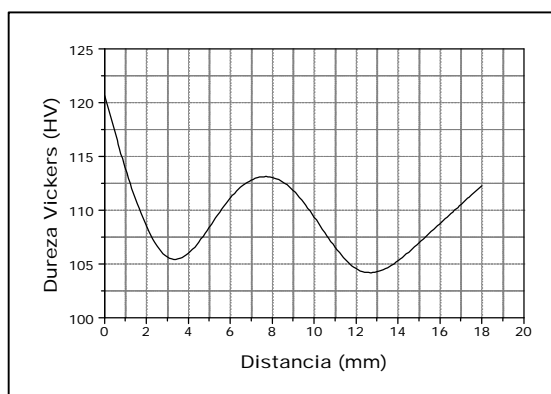


Fig. 672: Perfil de la sección longitudinal de la pieza

LXVIII. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 2.*

LXIX. *Tabla : Composición química de la pieza.*

- 664. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 2.*
- 665. *Fig. : Microestructura de bronce a.*
- 666. *Fig. : Distintos tamaños de grano según zonas.*
- 667. *Fig. : Zona de corrosión generalizada.*
- 668. *Fig. : Identificación de productos de corrosión.*
- 669. *Fig. : Corrosión a través de límite de grano.*
- 670. *Fig. : Identificación de productos de corrosión intergranular.*
- 671. *Fig. : Esquema del objeto*
- 672. *Fig. : Perfil de la sección longitudinal de la pieza*

4.2.17 Varilla nº 9

4.2.17.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento también pertenece al conjunto de materiales del cuadro 6 – 3.

Sus propiedades físicas quedan reflejadas en la tabla LXX.

Tabla LXX: Características físicas de la varilla denominada número 9.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	2.74	Quintanilla 76. 20-IX. Cuadro 6-3	62.53	2.98

Se trata de un objeto denominado varilla por su morfología y características físicas (Fig. 673).



Fig. 673: Objeto catalogado como varilla número 9

4.2.17.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La caracterización microestructural de la sección longitudinal del objeto indica que esta varilla está fabricada en bronce (Fig. 674), con contenido en Sn de 6.63% (tabla LXXI)

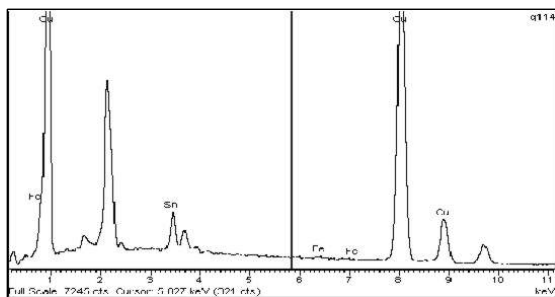


Fig. 674: Identificación EDS de bronce.

Tabla LXXI: Composición del bronce.

ELEMENTO	% EN PESO
Fe	0.25
Cu	93.12
Sn	6.63
Total	100

La microestructura que muestra la varilla es la de una matriz de fase α maclada (Fig. 675) y tamaño de grano variable a lo largo de la pieza (Fig. 676). En algunas zonas aisladas, el grano de α se presenta degradado con corrosión intergranular (Fig. 677).

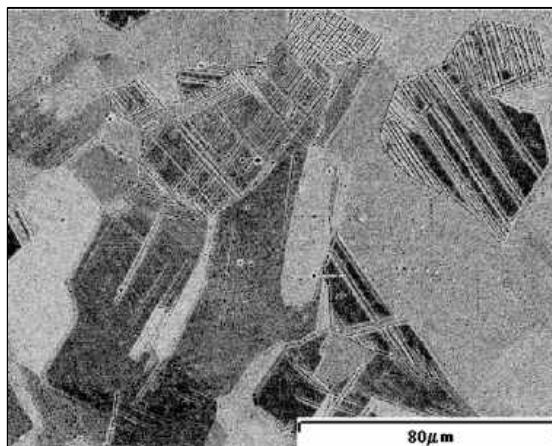


Fig. 675: Matriz de bronce maclada.



Fig. 676: Microestructura con diferentes tamaños de grano.

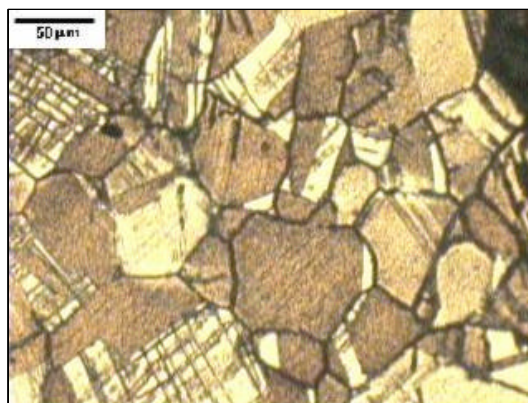


Fig. 677: Grano degradado.

Esta pieza presenta una zona interna con dos bandas de escorias longitudinalmente dispuestas que muestran (Fig. 678) distinto color. Una de ellas, la de tonalidad más oscura (A) (Fig. 679), esta formada por Si y O (Fig. 680), además de Cu y Sn. La otra escoria, de tonalidad más clara (B) (Fig. 681), está formada cualitativamente por los mismos elementos que la escoria oscura (Fig. 682), la diferencia entre estas dos escorias radica en la cuantificación de los elementos principales de la matriz, de manera que, la escoria más oscura presenta un mayor contenido en Cu que la clara, que presenta esta tendencia en el contenido de Sn (tabla LXXII).

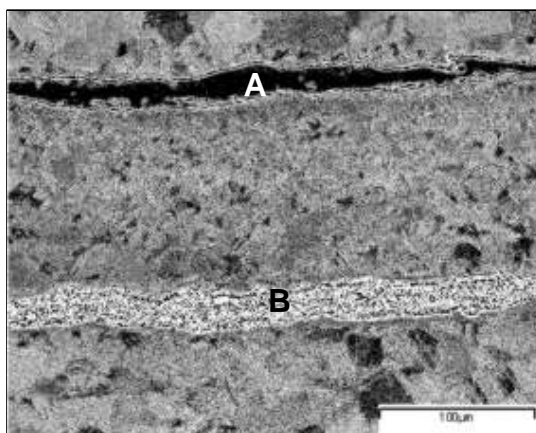


Fig. 678: Matriz con bandas de escoria.

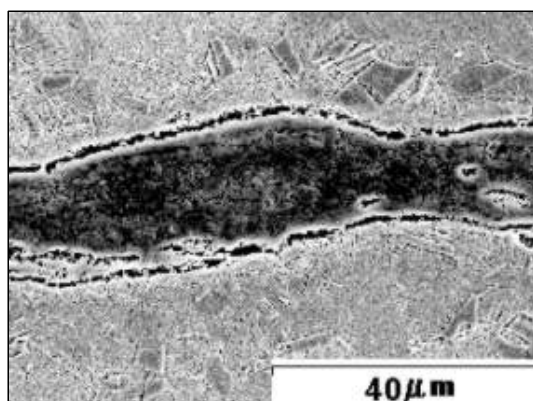


Fig. 679: Detalle de la escoria de color oscuro en la figura 678 (A).

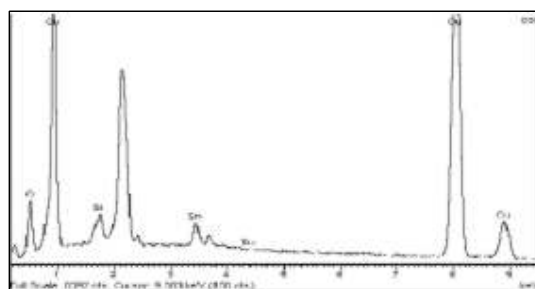


Fig. 680: Análisis EDS de la escoria de la figura 679.

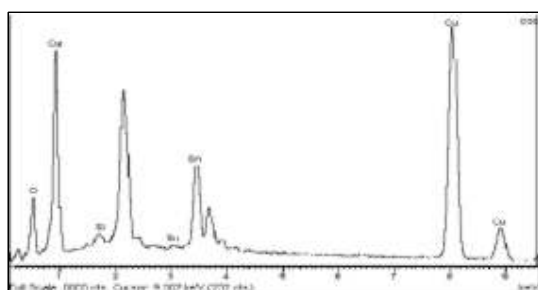


Fig. 682: Análisis de escoria blanca.

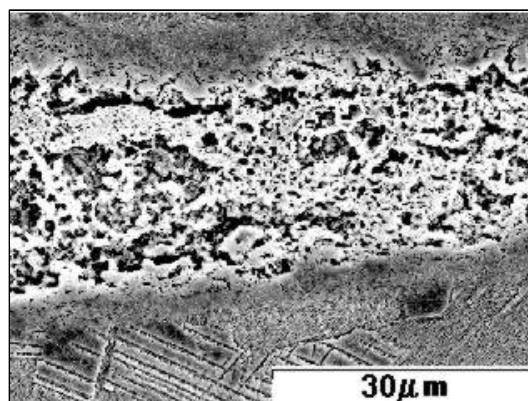


Fig. 681: Detalle de escoria (B).

Tabla LXXII: Composición de las escorias.

ELEMENTO	% EN PESO	
	Escoria oscura	Escoria clara
O	11.64	15.41
Si	2.25	0.84
Cu	82.09	69.51
Sn	4.03	14.24
Total	100	100

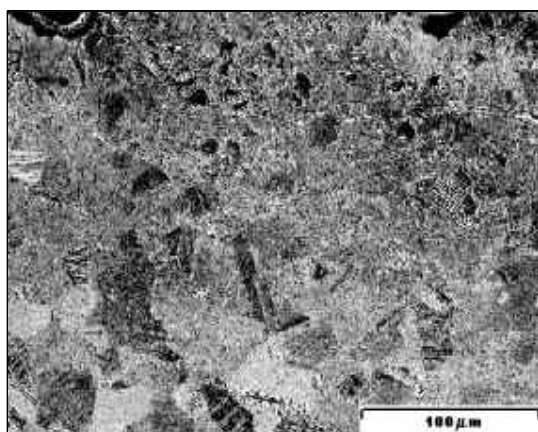


Fig. 683: Zona de corrosión generalizada.

La zona de degradación, o pátina de corrosión (Fig. 683), presenta productos de corrosión dispuestos de forma homogénea (Fig. 684) e identificados mediante espectrofotometría de dispersión de rayos X, como sulfuros de Se, Fe y Cu (Fig. 685).

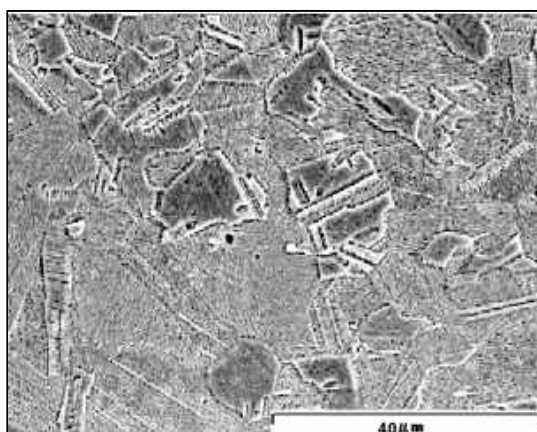


Fig. 684: Detalle de la zona de degradación.

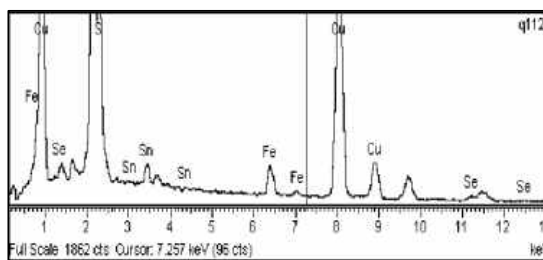


Fig. 685: Análisis EDS de los productos de corrosión.

4.2.17.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que presenta la pieza (Fig. 686), son homogéneos y como media toman un valor de 115 ± 10 HV (Fig. 687), que correspondería a un bronce de aproximadamente un 6.6% en estaño.

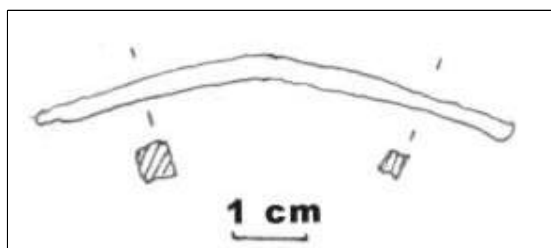


Fig. 686: Esquema del objeto.

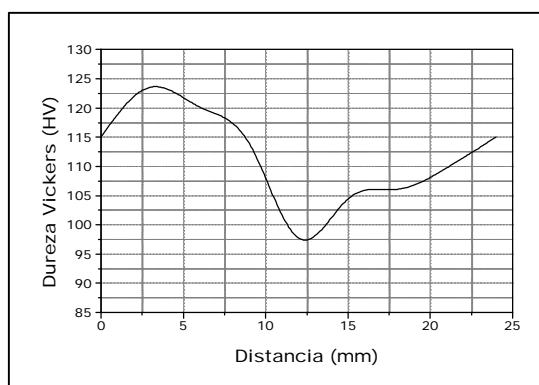


Fig. 687: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

- LXX. *Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 3.*
LXXI. *Tabla : Composición del bronce.*
LXXII. *Tabla : Composición de las escorias.*

673. *Fig. : Objeto catalogado como varilla número 3.*
674. *Fig. : Identificación de bronce.*
675. *Fig. : Matriz de bronce maclada.*
676. *Fig. : Microestructura con diferentes tamaños de grano.*
677. *Fig. : Grano degradado.*
678. *Fig. : Matriz con bandas de escoria.*
679. *Fig. : Detalle de escoria.*
680. *Fig. : Análisis de escoria oscura.*
681. *Fig. : Detalle de escoria.*
682. *Fig. : Análisis de escoria blanca.*
683. *Fig. : Zona de corrosión generalizada.*
684. *Fig. : Detalle de la zona de degradación.*
685. *Fig. : Análisis de los productos de corrosión.*
686. *Fig. : Esquema del objeto.*
687. *Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal.*

4.2.18 Varilla nº 10

4.2.18.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento de objeto fue recogido el 20 de septiembre del año 1976, en la villa de La Tejada, en el cuadro 6 – 3. Sus características físicas, así como los detalles de su identificación quedan reflejados en la tabla LXXIII. Nuevamente esta pieza se catalogó como varilla, debido a su morfología (Fig. 688)

Tabla LXXIII: Características físicas de la varilla denominada número 10

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	2.40	Quintanilla 76. 20-IX. Cuadro 6-3	39.45	3.54



Fig. 688: Objeto catalogado como varilla número 10

4.2.18.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La composición de la pieza es la de un bronce (Fig. 689) con aproximadamente un 6.7% de estaño (Tabla LXXIV), y se corresponde a un bronce de tipo a (Fig. 690).

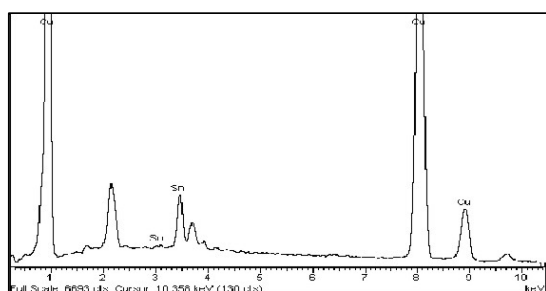


Fig. 689: Identificación del bronce.

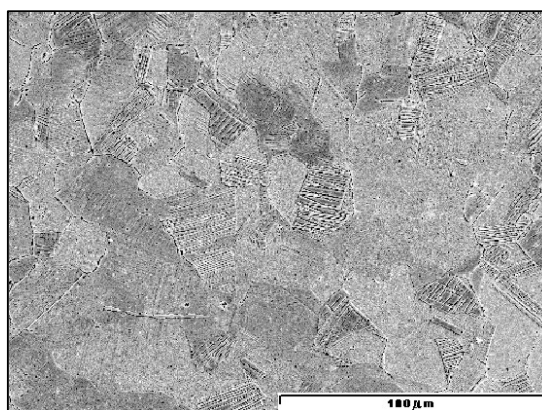


Fig. 690: Matriz de bronce a

Tabla LXXIV: Composición del bronce.

ELEMENTO	% EN PESO
Cu	93.28
Sn	6.72
Total	100.00

Se trata de un bronce que presenta bandas de deformación en frío debido a la existencia de maclas curvadas y bandas de deformación (Fig. 691) y con precipitados en la matriz (Fig. 692) cuyo análisis (Fig. 693) indica que están formados por covellina (CuS) o calcosina (Cu_2S), acompañada de selenio (Tabla LXXV).

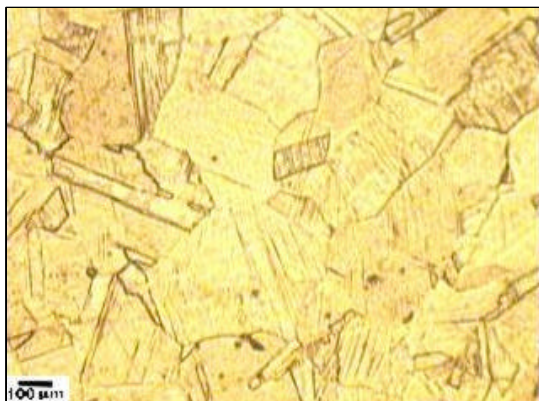


Fig. 691: Matriz con bandas de deformación.

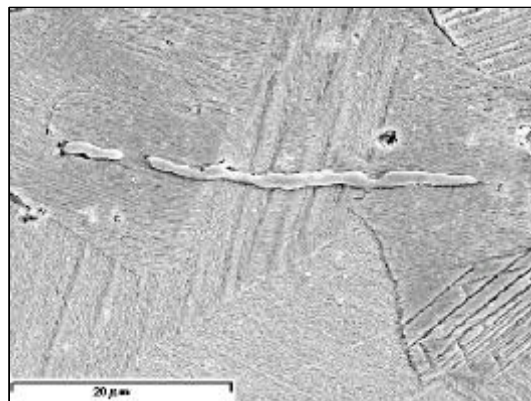


Fig. 692: Precipitados en la matriz

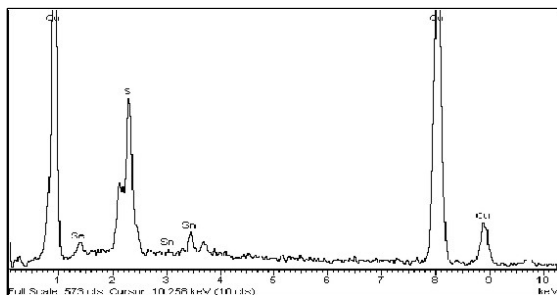


Fig. 693: Análisis EDS de los precipitados de la figura 692.

Tabla LXXV: Composición del precipitado de la figura 692.

ELEMENTO	% EN PESO
S	6.49
Cu	87.03
Se	2.61
Sn	3.87
Total	100.00

La pátina de corrosión es homogénea y uniforme (Fig. 694), aunque también coexiste con productos generados en procesos de corrosión intergranular y por límite de macla (Fig. 695).

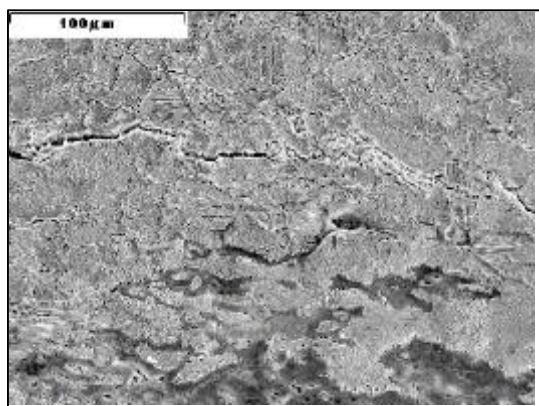


Fig. 694: Zona de corrosión generalizada.

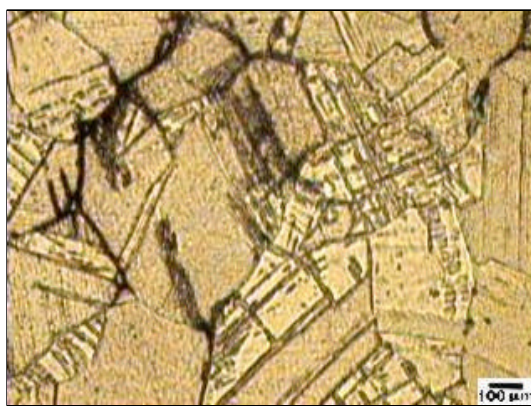


Fig. 695: Zona de corrosión intergranular.

El análisis EDS de los productos de corrosión (Fig. 696) localizados en zonas intergranulares indica que las zonas de color más oscuro de casiterita, SnO_2 , (Fig. 698) junto a zonas más claras (Fig. 697) que poseen plata precipitada en límite de grano.

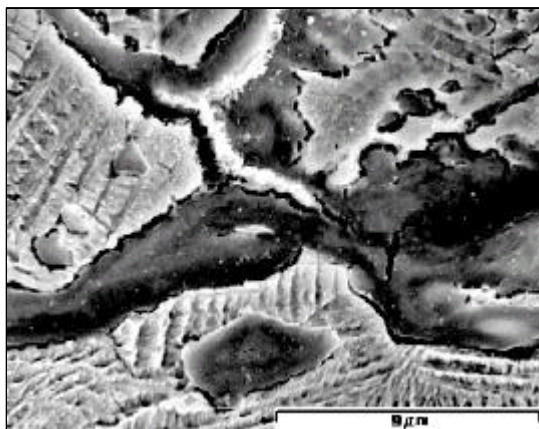


Fig. 696: Detalle de los productos de corrosión

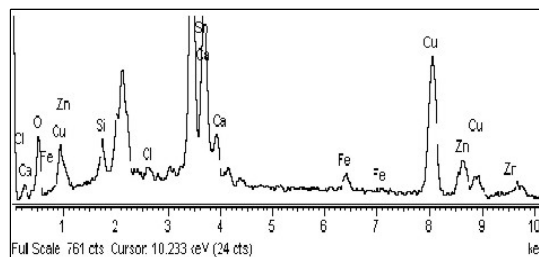


Fig. 697: Análisis EDS de las zonas más oscuras de la figura 696

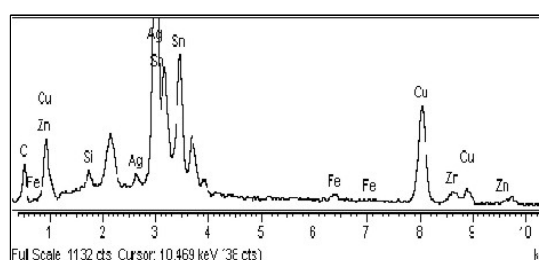


Fig. 698: Análisis EDS de las fases más claras de la figura 696.

4.2.18.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Este objeto (Fig. 699) presenta unos valores de dureza Vickers constantes (Fig. 700) y del orden de 130 ± 15 HV, que correspondería a un bronce con un 6.7% de estaño.

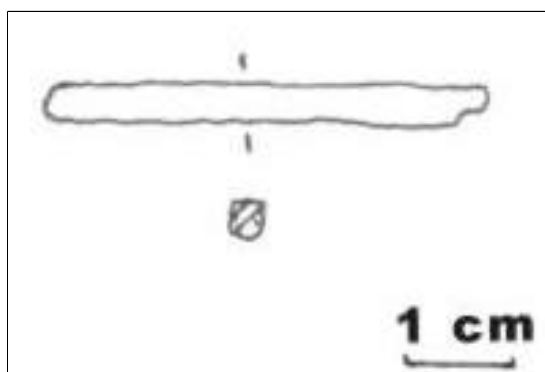


Fig. 699: Esquema del objeto.

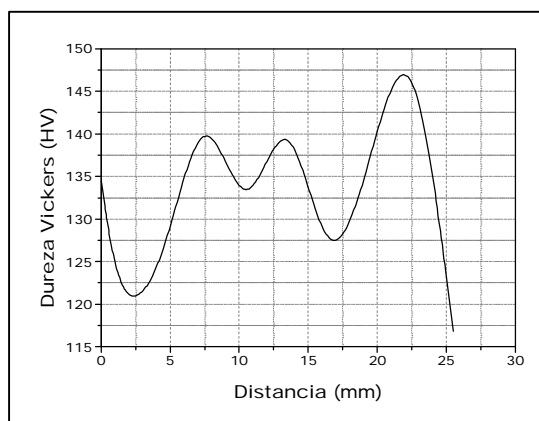


Fig. 700: Perfil de dureza en la sección longitudinal.

LXXIII. Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 4.

LXXIV. Tabla : Composición del bronce.

LXXV. Tabla : Composición del precipitado.

688. Fig. : Objeto catalogado como varilla número 4.

689. Fig. : Identificación del bronce.

690. Fig. : Matriz de bronce a

691. Fig. : Matriz con bandas de deformación.

692. Fig. : Precipitados en la matriz

693. Fig. : Análisis de los precipitados.

694. Fig. : Zona de corrosión generalizada.

695. Fig. : Zona de corrosión intergranular.

696. Fig. : Detalle de los productos de corrosión

697. Fig. : Análisis de las fases más claras.

698. Fig. : Análisis de las zonas más oscuras

699. Fig. : Esquema del objeto.

700. Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal.

4.2.19 Varilla nº 11

4.2.19.1. CATALOGACIÓN

La pieza pertenece a un conjunto de fragmentos hallados en La Tejada en el año 1976. Fue catalogada y caracterizada según la tabla LXXVI.

Tabla LXXVI: Características físicas de la varilla denominada número 11.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	2.71	Quintanilla 76. Pulsera de cobre (¿). B-3 carretilla	60.62	3.78

A pesar de su posible origen de pulsera de cobre, por sus características externas (Fig. 701) se identificó, para el presente trabajo como varilla número 11.



Fig. 701: Objeto catalogado como varilla número 11.

4.2.19.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Según el estudio microestructural llevado a cabo, en las secciones longitudinal y transversal de la pieza, se comprueba que la varilla está fabricada en su totalidad en un bronce a (Fig. 702), con escorias dispuestas longitudinalmente a lo largo de la misma (Fig. 703).

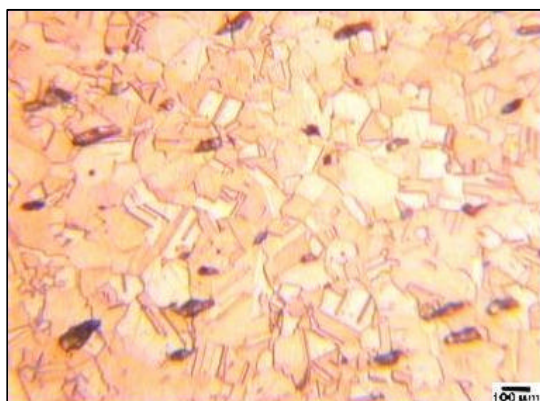


Fig. 702: Microestructura de bronce a.



Fig. 703: Escorias direccionadas en la matriz.

Analizando mediante EDS, estas escorias (Fig. 704), se comprueba que contienen plomo como elemento mayoritario en su composición (Fig. 705).

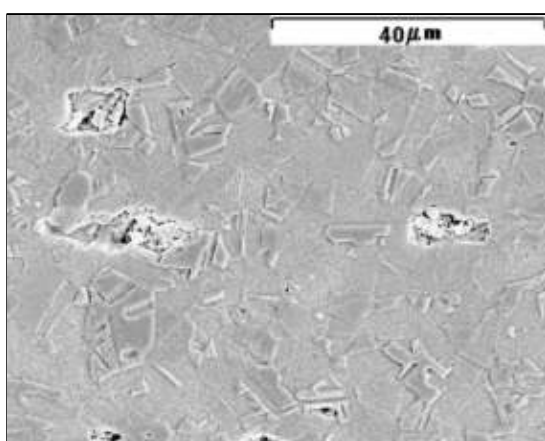


Fig. 704: Detalle de las escorias presentes.

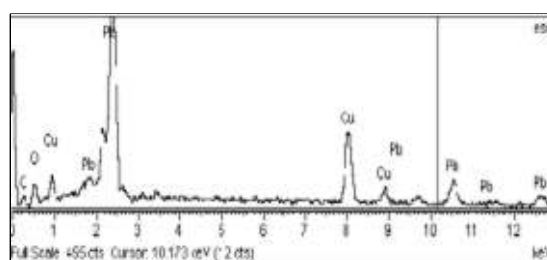


Fig. 705: Análisis de las escorias.

Tanto la microestructura de bronce a, como la presencia de estas escorias, es común en toda la pieza. En zonas aisladas de la periferia de la varilla, aparecen grietas de deformación o soldadura imperfecta (Fig. 706), que favorecen los fenómenos de corrosión a través del límite de grano (Fig. 707).

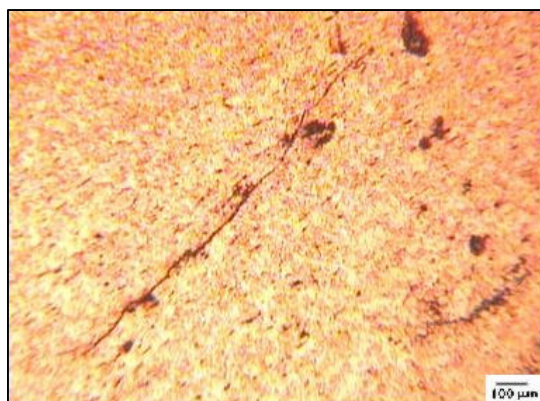


Fig. 706: Grietas en la matriz a, en zonas periféricas de la varilla.



Fig. 707: Corrosión a través de límite de grano, en zonas de agrietamiento.

La zona de corrosión externa o pátina de corrosión de la pieza (Fig. 708), presenta unos productos de corrosión formados por óxidos ricos en plomo, cobre y estaño (Fig. 709), que envuelven a otros productos de corrosión constituidos fundamentalmente por plomo (Fig. 710).

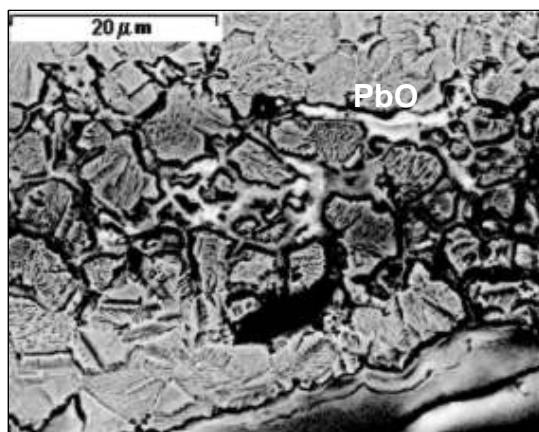


Fig. 708: Zona de pátinas de corrosión.

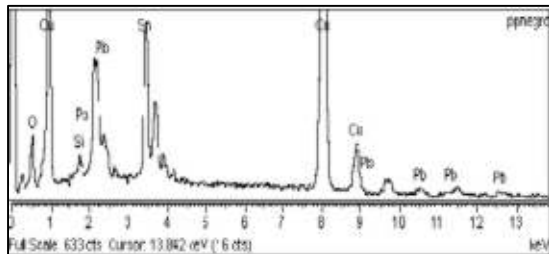


Fig. 709: Análisis EDS de las zonas más oscuras de la figura 708.

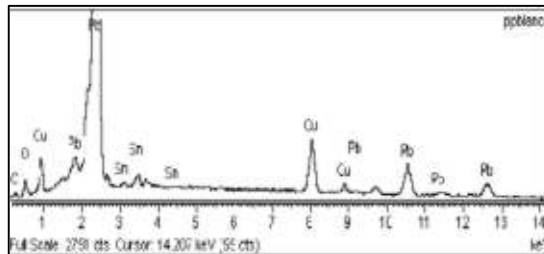


Fig. 710: Análisis EDS de las zonas más claras de la figura 708.

4.2.19.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

La caracterización mecánica de esta pieza (Fig. 711) ha sido realizada tomando valores de dureza Vickers en su sección longitudinal (Fig. 712), presentándose valores medios de 110 ± 15 HV, en toda la pieza.

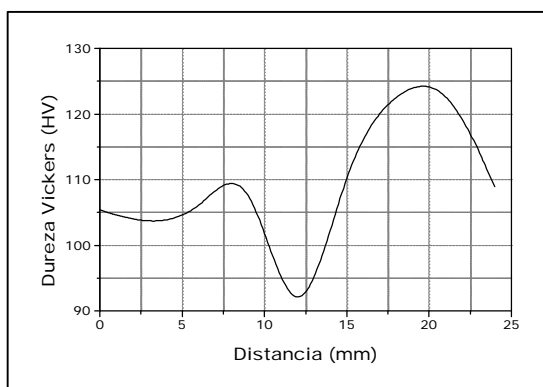


Fig. 712: Perfil de valores de dureza obtenidos en la sección longitudinal de la pieza.

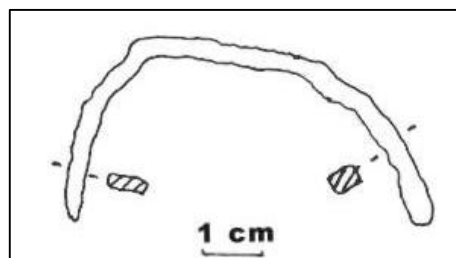


Fig. 711: Esquema del objeto.

4.2.20 Varilla nº 12

4.2.20.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento fue hallado en el año 1976 en la villa de La Tejada. Sus características físicas quedan reflejadas en la tabla LXXVII.

Tabla LXXVII: Características físicas de la varilla denominada número 12.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	1.38	Quintanilla 76. Pulsera de cobre (¿). B-3 carretilla	44.35	3.60

Se trata de un objeto perteneciente a un conjunto de piezas, todas ellas catalogadas, según los arqueólogos que las descubrieron, como posibles pulseras de cobre (Fig. 713).



Fig. 713: Objeto catalogado como varilla número 12.

4.2.20.2. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

La varilla tiene una naturaleza base cobre, de bronce (Fig. 714). Su contenido en estaño es de un 8.6 % (Tabla LXXVIII), lo que se corresponde con una microestructura de tipo a, que se muestra en la matriz con numerosas inclusiones (Fig. 715).

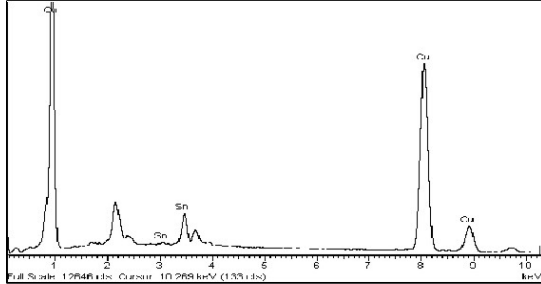


Fig. 714: Análisis de elementos que componen la pieza.

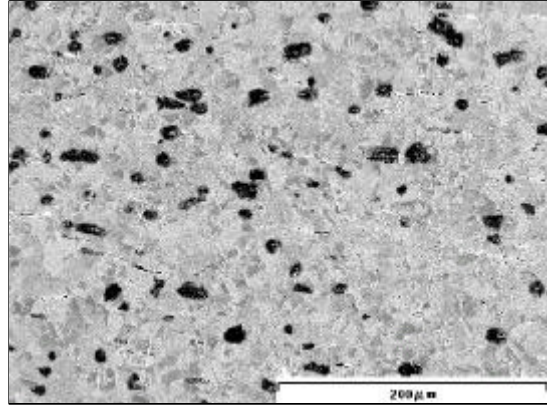


Fig. 715. Microestructura de bronce a:

Tabla LXXVIII: Composición de la pieza.

ELEMENTO	% EN PESO
Cu	91.38
Sn	8.62
Total	100.00

Estas inclusiones presentan morfologías alargadas y curvas (Fig. 716), mientras que la matriz se presenta con maclas curvadas por la deformación en frío sufrida por la pieza (Fig. 717).

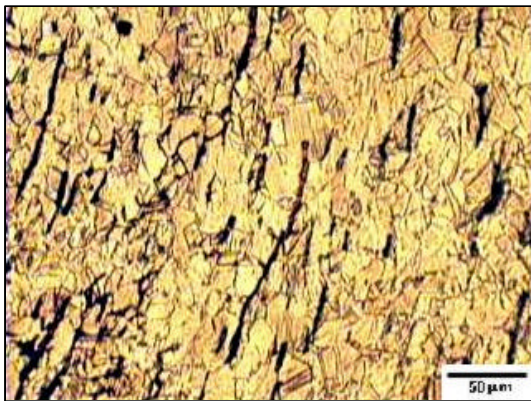


Fig. 716: Inclusiones curvadas en la matriz de bronce a.

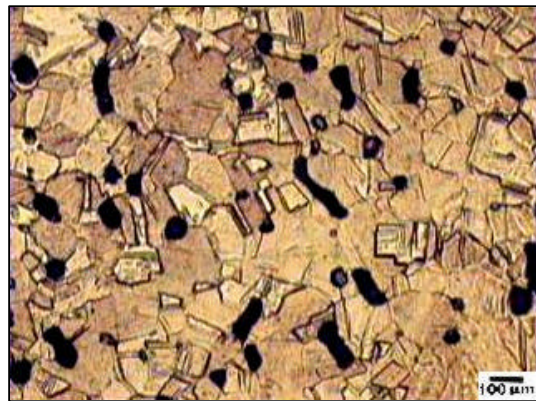


Fig. 717: Matriz con bandas de deformación.

Analizando con mayor detenimiento la gran cantidad de escorias presentes en esta pieza, se comprueba la existencia de diferentes tipos fácilmente diferenciables.

Una de color más claro y morfología alargada (Fig. 718) en cuya composición el azufre y el cobre son elementos mayoritarios (Fig. 719), y otra de tonalidad oscura formada fundamentalmente de óxido de plomo (Fig. 720)

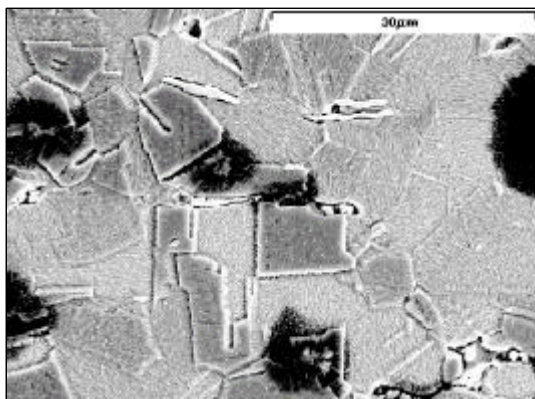


Fig. 718: Matriz con escorias de distinta naturaleza.

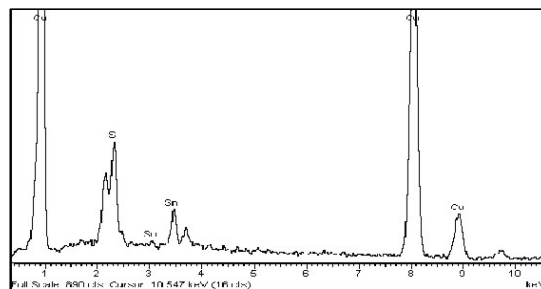


Fig.719: Análisis EDS de escoria más clara de la figura 718.

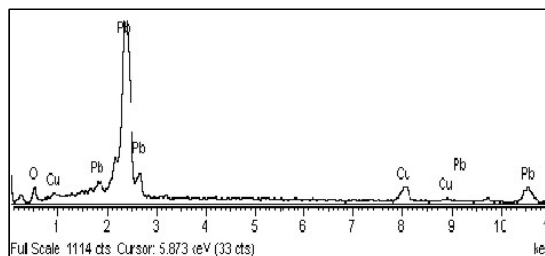


Fig. 720: Análisis EDS de escoria más oscura de la figura 718.

Respecto al análisis de las pátinas de corrosión localizadas en la zona externa de la pieza, nuevamente y como sucedía en las piezas de bronce estudiadas anteriormente, coexisten fenómenos de corrosión generalizada (Fig. 721) y por límite de grano (Fig. 722).

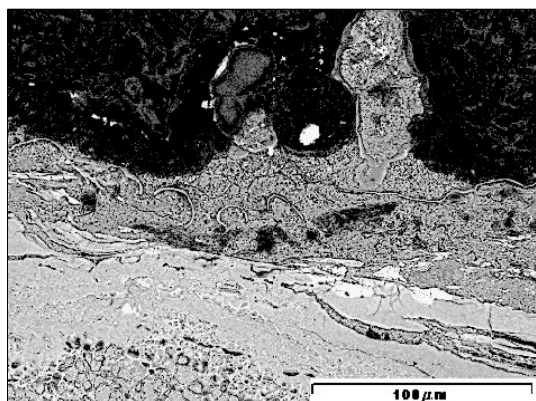


Fig. 721: Pátina de corrosión homogénea.

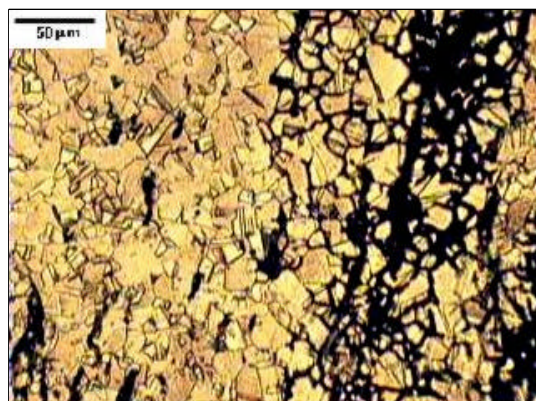


Fig. 722: Corrosión en límite de grano.

De forma particular, fueron analizados los distintos constituyentes de estas pátinas de corrosión. El análisis de los precipitados con morfología curva presente en estas pátinas (Fig. 723) indica que esta formada por azufre, cloro y cobre, además de oxígeno (Fig. 724). La naturaleza de los elementos identificados, podría ser indicativos de que se trata de una mezcla de óxido de cobre y sales de cloro y azufre, posiblemente consecuencia del contacto directo entre la pieza y medios acuosos, que favorecen los fenómenos de corrosión.

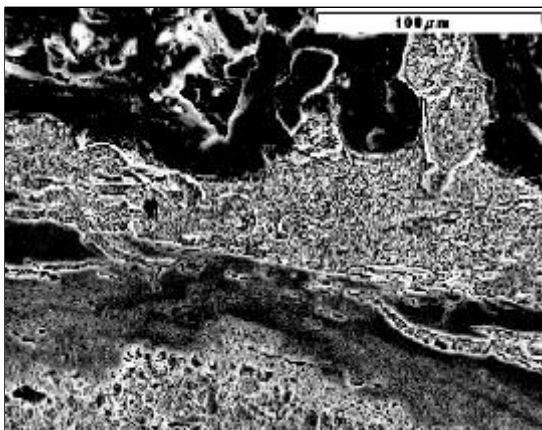


Fig. 723: Detalle de precipitados en forma curva existentes en las pátinas de corrosión.

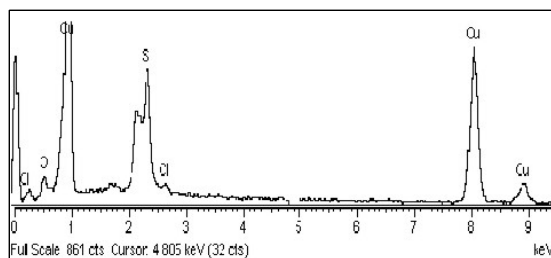


Fig. 724: Análisis EDS de los precipitados en forma curva de la figura 723.

Otras zonas de estas pátinas de corrosión (Fig. 725), aparecen con grano idiomórfico

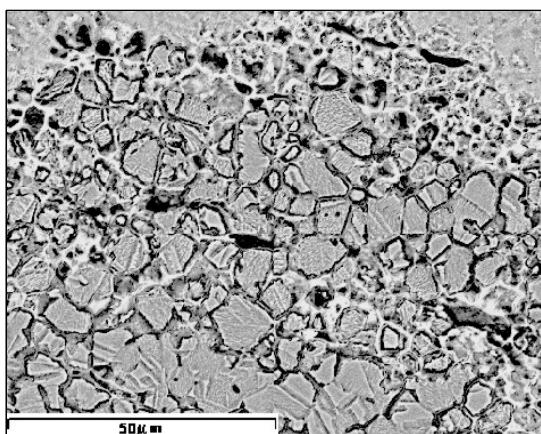


Fig. 725: Pátina de corrosión con grano idiomórfico.

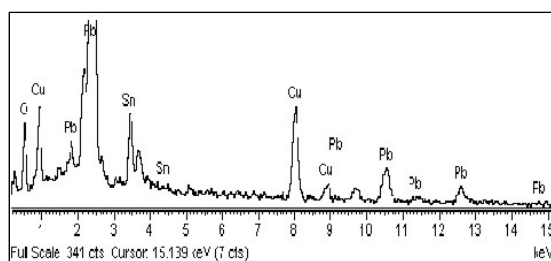


Fig. 726: Análisis EDS de escorias plúmbicas en límite de grano.

donde el óxido de plomo aparece precipitado en límite de grano (Fig. 726).

4.2.20.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Las medidas de dureza llevadas a cabo sobre este objeto (Fig. 727) muestran valores no muy heterogéneos, si bien sí que se perciben ligeras diferencias en función de la sección donde hayan sido tomadas. Así, se presentan valores medios de 83.5 HV en la sección transversal (Fig. 728). Y valores medios de 100 ± 5 HV en la sección longitudinal (Fig. 729), si bien se observa una disminución drástica de los valores de dureza (35 HV) asociados a la zona de la pieza menos curvada, y por lo tanto menos tensionada

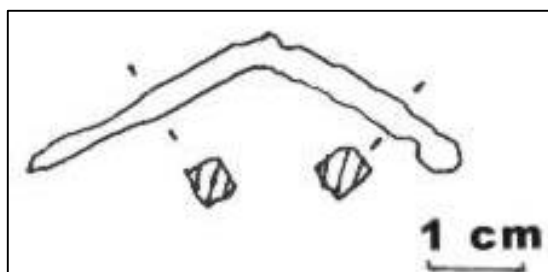


Fig. 727: Esquema del objeto.

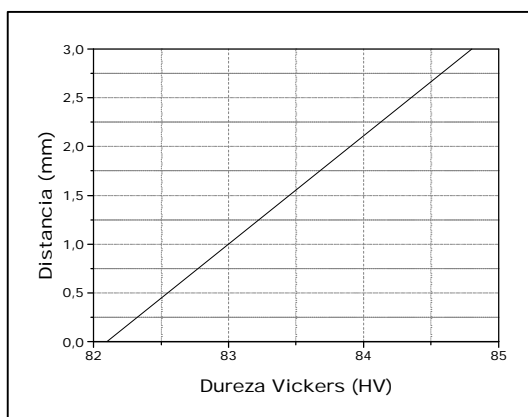


Fig. 728: Perfil de dureza en la sección transversal del objeto.

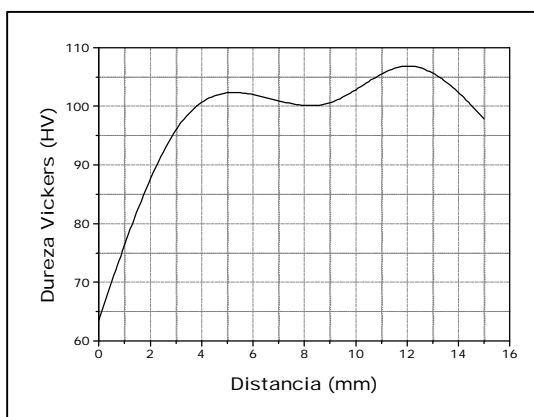


Fig. 729: Perfil de dureza en la sección longitudinal del objeto.

LXXVI. Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 9.

- 701. Fig. : Objeto catalogado como varilla número 9.
- 702. Fig. : Microestructura de bronce a.
- 703. Fig. : Escorias direccionadas en la matriz.
- 704. Fig. : Detalle de las escorias presentes.
- 705. Fig. : Análisis de las escorias.
- 706. Fig. : Grietas en la matriz a.
- 707. Fig. : Corrosión a través de límite de grano.
- 708. Fig. : Zona de pátinas de corrosión.
- 709. Fig. : Análisis de las zonas más oscuras.
- 710. Fig. : Análisis de las zonas más claras.
- 711. Fig. : Esquema del objeto.
- 712. Fig. : Perfil de valores de dureza obtenidos en la sección longitudinal de la pieza.

LXXVII. Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 10.

LXXVIII. Tabla : Composición de la pieza.

- 713. Fig. : Objeto catalogado como varilla número 10.
- 714. Fig. : Análisis de elementos que componen la pieza.
- 715. Fig. : Microestructura de bronce a:
- 716. Fig. : Inclusiones curvadas en la matriz.
- 717. Fig. : Matriz con bandas de deformación.
- 718. Fig. : Matriz con escorias de distinta naturaleza.
- 719. Fig. : Análisis de escoria más clara.
- 720. Fig. : Análisis de escoria más oscura.
- 721. Fig. : Pátina de corrosión homogénea.
- 722. Fig. : Corrosión en límite de grano.
- 723. Fig. : Detalle de precipitados en forma curva.
- 724. Fig. : Análisis de precipitados en forma curva.
- 725. Fig. : Pátina de corrosión con grano idiomórfico.
- 726. Fig. : Análisis de escorias plúmbicas.
- 727. Fig. : Esquema del objeto.
- 728. Fig. : Perfil de dureza en la sección transversal del objeto.
- 729. Fig. : Perfil de dureza en la sección longitudinal del objeto.

4.2.21 Varilla nº 13

4.2.21.1. CATALOGACIÓN

Este fragmento de pieza fue hallado en la villa de La Tejada en el año 1976. Las características físicas externas se presentan en la tabla LXXIX.

Tabla LXXIX: Características físicas de la varilla denominada número 13.

Nombre	Material	Peso (g)	Identificación	Medidas (mm)	
				Largo	Ancho
Varilla	Bronce	1.58	Quintanilla 76. Pulsera de cobre (¿). B-3 carretilla	50.73	3.31

Se catalogó este fragmento (Fig. 730) como varilla, si bien se reconoce su procedencia como de una posible pulsera de cobre, dada la identificación que la acompañaba en el momento de su entrega para su estudio.



Fig. 730: Objeto catalogado como varilla número 13.

4.2.21.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

La caracterización química mediante técnicas de difracción de rayos X han sido llevadas a cabo tanto sobre las tierras adheridas a la pieza, como sobre pátinas desprendidas de la misma durante todo el proceso de catalogación y preparación de muestras (Fig. 731).

Los picos del difractograma obtenido (Tabla LXXX) quedan identificados como cuarzo SiO_2 (33-1161) y cuprita Cu_2O (78-2076).

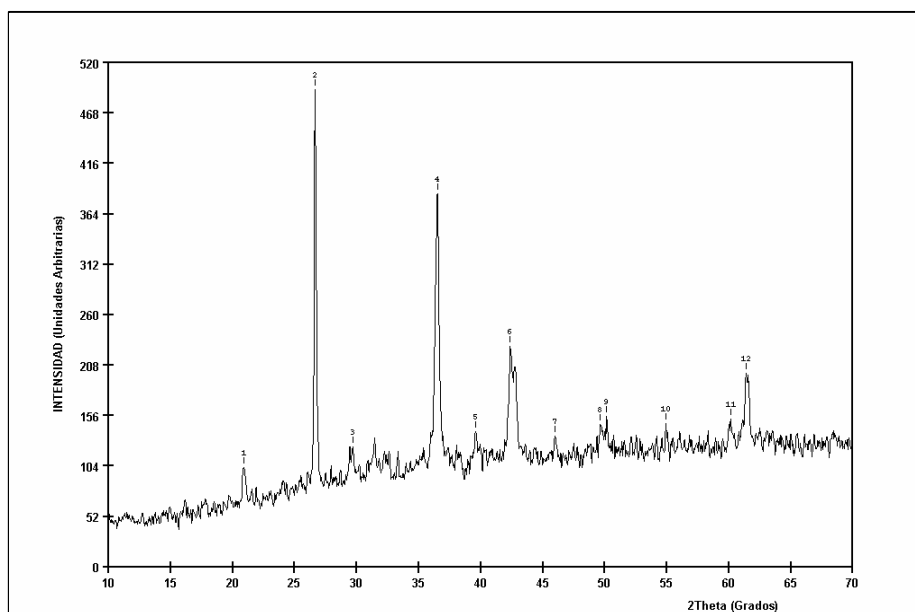


Fig. 731: Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.

Tabla LXXX: Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan a la varilla.

DIFRACTOGRAMA				IDENTIFICACIÓN				
Nº pico	Ángulo (2 θ)	Espaciado. (Å)	Intensidad (%)	Compuesto	nº Ficha	Planos		
						h	k	l
1	20.90	4.250	20.9	SiO ₂	33-1161	1	0	0
2	26.62	3.349	100	SiO ₂	33-1161	1	0	1
3	29.66	3.012	25.2	Cu ₂ O	78-2076	1	1	0
4	36.50	2.462	78.3	Cu ₂ O	78-2076	1	1	1
5	39.58	2.277	28.5	SiO ₂	33-1161	1	0	2
6	42.38	2.133	46.3	Cu ₂ O	78-2076	2	0	0
7	45.98	1.974	27.4	SiO ₂	33-1161	2	0	1
8	49.62	1.837	29.9	SiO ₂	33-1161	1	1	2
9	50.14	1.819	31.5	SiO ₂	33-1161	0	0	3
10	54.90	1.672	30.1	SiO ₂	33-1161	2	0	2
11	60.14	1.539	31.1	SiO ₂	33-1161	2	1	1
12	61.42	1.510	40.7	Cu ₂ O	78-2076	2	2	0

4.2.21.3. CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

Esta pieza está fabricada en bronce (Fig. 732) con un contenido en Sn del 7.7% (Tabla. LXXXI). La microestructura que presenta la totalidad de la pieza es, como en casos anteriormente estudiados, de matriz α , con la presencia de una gran cantidad de escorias (Fig. 733).

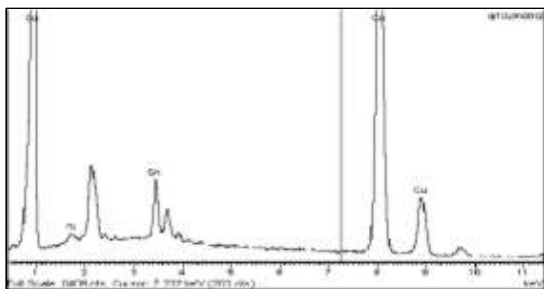


Fig. 732: Análisis de los elementos presentes en la pieza.

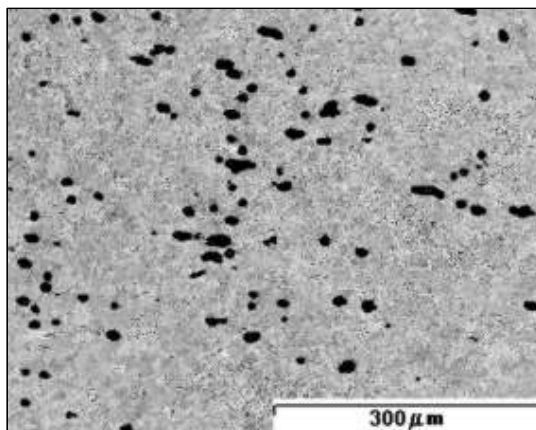


Fig. 733: Matriz de bronce a con gran cantidad de escorias..

Tabla LXXXI: Composición de la pieza.

ELEMENTO	% EN PESO
Si	0.55
Cu	91.76
Sn	7.69
Total	100

La morfología que muestran estas escorias es tanto lenticular como alargada. Las escorias con morfología lenticular (Fig. 734) están formadas por Pb, junto con Cu y Sn (Fig. 735). Estos dos últimos constituyentes aparecen en el análisis por efecto matriz, por lo que se trataría de escorias plúmbicas.

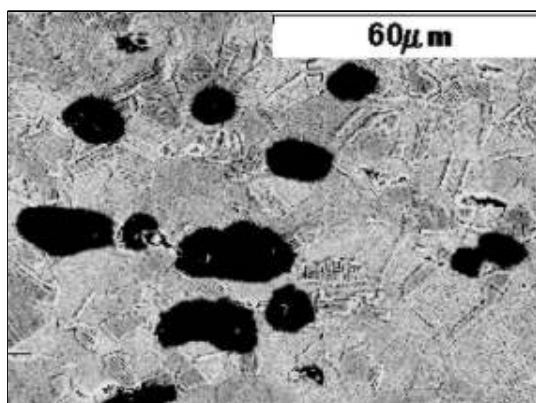


Fig. 734: Escorias en matriz a con morfología lenticular.

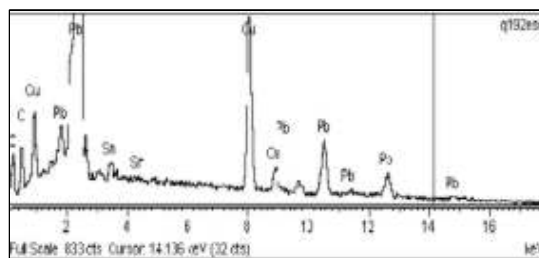


Fig. 735: Análisis EDS de las escorias de la figura 734.

Las escorias alargadas muestran distintas fases en su interior (Fig. 736), y son comunes a las analizadas en la pieza denominada varilla número 10, y constituidas fundamentalmente por azufre.

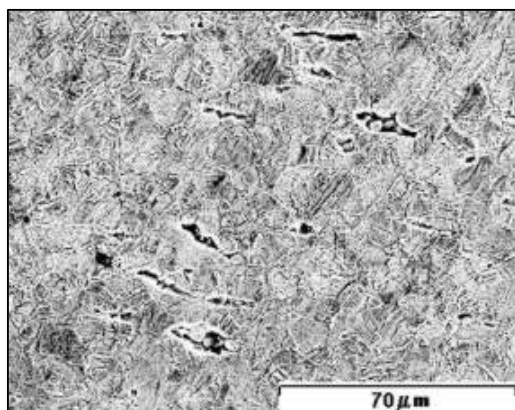


Fig. 736: Escorias sobre matriz direccionadas.

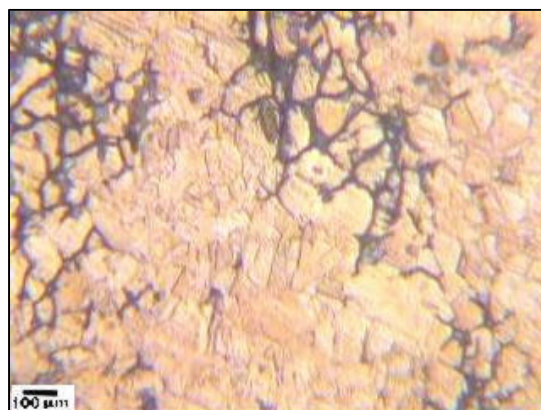


Fig. 737: Corrosión intergranular.

Observando las áreas colindantes de la pieza con las pátinas de corrosión, se comprueba que el frente de degradación tiene lugar a través del límite de grano (Fig. 737).

4.2.21.4. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los valores de dureza Vickers que presenta la pieza (Fig. 738) son homogéneos y son aproximadamente de 130 ± 15 HV (Fig. 739).

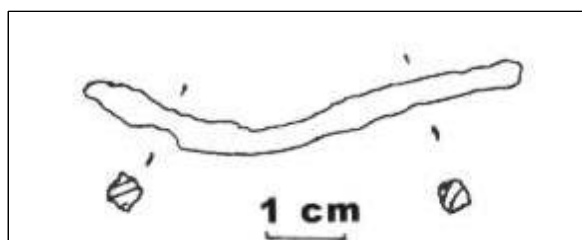


Fig. 738: Esquema del objeto.

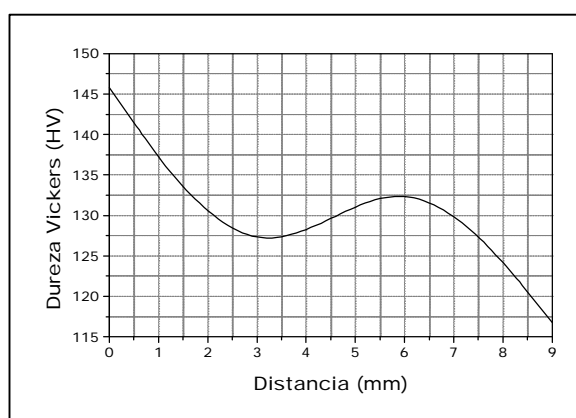


Fig. 739: Perfil de dureza a lo largo de la pieza.

LXXIX. Tabla : Características físicas de la varilla denominada número 11.

LXXX. Tabla : Identificación de los picos del difractograma de las tierras que acompañan a la varilla.

LXXXI. Tabla : Composición de la pieza.

730. Fig. : Objeto catalogado como varilla número 11.

731. Fig. : Difractograma de las tierras recogidas junto a la varilla.

732. Fig. : Análisis de los elementos presentes en la pieza.

733. Fig. : Matriz muy deteriorada.

734. Fig. : Escorias en matriz con morfología lenticular.

735. Fig. : Análisis de las escorias.

736. Fig. : Escorias sobre matriz direccionadas.

737. Fig. : Corrosión intergranular.

738. Fig. : Esquema del objeto.

739. Fig. : Perfil de dureza a lo largo de la pieza.

4.2.22 Tecnología De La Tejada

4.2.22.1. CLAVOS

La caracterización y estudio del conjunto de clavos pertenecientes a la villa romana de La Tejada indica que estos, en su mayoría, están formados con aceros de muy bajo contenido en hierro, ferríticos, aunque y excepcionalmente este porcentaje de carbono se puede ver incrementado en zonas externas y de punta debido probablemente a procesos de carburación de las piezas.

Se reconoce que estos clavos presentan microestructuras debidas a procesos de recocido de globulización y fenómenos de recristalización asociados a fenómenos de endurecimiento por acritud.

El procedimiento de fabricación de los clavos estudiados en el presente trabajo y de forma general, consistiría en:

- ✍ Forjar una barrita de sección cuadrada en acero de bajo contenido en carbono.
- ✍ Conformar la forma de la cabeza disminuyendo en dos caras paralelas de la barrita su sección, o en algunos clavos excepcionales las cuatro caras.
- ✍ Afilar el clavo.

4.2.22.2. VARILLAS

Del conjunto de varillas de naturaleza férrea estudiadas en el presente trabajo se puede simular el procedimiento de fabricación de las mismas como la forja de estas varillas mediante martillado y calor, asociado a procesos de carburación con carbón vegetal, facilitada por el grosor de las piezas.

Las varillas de naturaleza base cobre presentan una gran uniformidad en su composición (Tabla LXXXII). El estaño se encuentran en un intervalo del 6.63 al 8.62 % que se corresponde a broncees del tipo a.

Tabla LXXXII: Composición de las aleaciones de bronce que presentan las piezas de La Tejada.

ALEACIÓN MEDIDA	% Cu	%Sn
1	90.94	8.34
2	92.04	7.05
3	93.12	6.63
4	93.28	6.72
5	91.76	7.69
6	91.38	8.62

LXXXII. Tabla : Composición de las aleaciones de bronce que presentan las piezas de La Tejada.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

1. Del estudio de las piezas de naturaleza férrea encontradas en las villas romanas palentinas de La Olmeda y de La Tejada, se deduce que se tenía un conocimiento exhaustivo de la fabricación y modificación metalúrgica del hierro y el acero.
2. El procedimiento tecnológico, hoy en día conocido como soldadura por forja, era utilizado en la fabricación de piezas en general, tanto para uso doméstico como militar. Este hecho fue verificado por la detección masiva de diferentes tipos de escorias embebidas en las matrices de naturaleza férrea, que las constituían.
3. La mayoría de las piezas estudiadas no fueron fabricadas a partir de única materia prima, sino que se consiguieron por soldadura de masas metálicas de diferente composición química, variando fundamentalmente su contenido en carbono. Esta, a priori, es la forma más lógica de obtener una pieza de mayor espesor y diferentes propiedades, tanto en zonas externas como internas de la pieza.

Villa de La Olmeda

4. Del estudio microestructural de las piezas encontradas en la villa de La Olmeda se deduce que, en todos los casos se trata de masa metálica de naturaleza férrea con contenidos en carbono que van desde 0.01% hasta el 0.9%, asociados a microestructuras ferríticas, hipoeutectoides, eutectoides e hipereutectoides [111].
5. La utilización del cobre en las piezas estudiadas en esta villa se reduce a su uso como refuerzo o remache en piezas huecas soldadas (pieza nº1 cencerro). El procedimiento de soldadura por forja de materiales heterogéneos (acero-bronce) es un caso excepcional del estudio realizado y suponiendo para la época un gran avance dentro del campo de las técnicas de unión.
6. Un número importante de las piezas halladas y estudiadas de esta villa presentan una única microestructura constituida 100 % por ferrita (pieza nº6 cadena, nº11 cincel, nº15 alcayata, nº16 martillo de platero, nº18 gancho, nº21 sierra). En todas ellas se observaba un alto grado de deformación producto del proceso de fabricación sin variar en ningún momento el contenido en carbono del acero.

7. Otro tipo de piezas estudiadas presentan áreas periféricas decarburas con alma de mayor contenido en carbono asociadas a microestructuras perlítico ferríticas (pieza nº2 aguja saquera, nº7 mango de sítula, nº3 badajo). Este fenómeno se explica atendiendo a dos criterios distintos; el primero de ellos (nº 2 y nº7) por degradación externa de la pieza en su periodo de enterramiento como consecuencia de la interacción con el medio circundante; el segundo (nº3) como consecuencia del procedimiento de martillado de una lámina en el proceso de conformación de las piezas [112].
8. En aquellas piezas donde se requiere dureza superficial en el filo era necesario aumentar su contenido en carbono. Este proceso era llevado a cabo en el hogar de forja carburando externamente la pieza con carbón vegetal manteniendo su alma ferrítica (pieza nº13 punta de lanza) [113].
9. Se conocía la forja de aceros de elevados contenidos en carbono (hipereutectoides) a temperaturas entre 550 °C a 700 °C con la que se consiguen microestructuras de cementita reticular con perlita globulizada, lo que confiere unas propiedades mecánicas apropiadas para la aplicación como herramientas (pieza nº14 cruceta, nº20 buril).
10. Uno de los procedimientos tecnológicos utilizados en la fabricación de piezas con filo se trata del apilamiento por forja con estructura tipo sándwich de láminas de diferente contenido en carbono, de manera que queda dispuesta en la zona central (zona de filo) una de las más carburas (pieza nº 5 y 9 hacha, nº10 escarpelo). Los efectos metalúrgicos de la soldadura en fase sólida a temperatura elevada son más suaves en carácter que los de la soldadura por fusión. Las escalas de enfriamiento son relativamente bajas y el hidrógeno como elemento de fragilidad está ausente, de modo que se puede soldar acero de alto contenido de carbono o acero de aleación sin agrietamiento [114, 115].
11. En la fabricación donde la pieza final tiene un diseño, dimensiones y morfología muy variable, la imposibilidad de moldear pieza metálicas de naturaleza férrea, que permitiría la fabricación en una pieza, dio lugar a la utilización de los procesos de soldadura por forja como técnicas de unión entre las distintas partes de la pieza. Puede tratarse de soldadura de láminas con misma composición y distinta morfología (pieza nº1 cencerro, nº4 cardador), o bien de láminas con diferente composición e igual morfología (pieza nº8 cuchillo, nº17 llave).

12. El conjunto de procedimientos técnicos utilizados en la fabricación de las piezas pertenecientes a esta villa engloban: cortado, estirado y laminado, recalcado, afilado, punzonado, doblado, tanto plegado como curvado.
13. Tras el proceso de forja, la cementación como proceso para aumentar la dureza superficial, el recocido de globulización como proceso para aumentar la tenacidad, los procesos de endurecimiento por acritud (deformación en frío) y los normalizados, eran aplicados en la mayoría de las piezas en función de las aplicaciones posteriores que se iban a dar a las mismas [116].
14. Las escorias existentes en la microestructura de estas piezas están formadas básicamente por los mismos elementos, por silicio, hierro y oxígeno formando cristales de wustita sobre una matriz fayalítica, lo cual indica una metalurgia uniforme en la villa durante el periodo de su existencia.

La aparición de wustita en las escorias, de forma dendrítica indica su solidificación desde temperaturas elevadas. Por otra parte, las de morfología globulizada indican un proceso posterior de calentamiento tras el proceso de conformado de las piezas. Finalmente, las que presentan cristales con morfología idiomorfa indica un proceso de cristalización al ser sometido al material a temperaturas moderadas y tiempos elevados [117].

La presencia de fósforo en las escorias favorece la morfología nodular de las mismas por modificación de su tensión superficial.

La presencia de cristales de fayalita fragmentada son consecuencia de procesos de deformación a baja temperatura (frío) de la pieza.

Villa de La Tejada

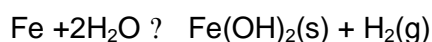
15. Las piezas de la villa de La Tejada (clavos y varillas) presentan microestructuras más homogéneas que las de La Olmeda lo que confirmaría una materia prima más selectiva (homogénea en su composición y propiedades).
16. Las microestructuras de estas piezas básicamente están constituidas por hierros pudelados, aceros hipoeutectoides (ferrítico perlíticos), eutectoides e hipereutectoides (< 1%C).

17. Normalmente en los clavos se ha observado procesos de decarburación en las zonas externas de la cabeza y punta de los mismos.
18. Se han observado tanto estructuras de recocido como de normalizado con presencia de ferrita Widmanstätten precipitada en límite de grano lo que podría conferirle una falta de tenacidad a la pieza.
19. Las piezas de bronce estudiadas presentan composiciones en estaño entre el 6 y 9%. En algunas piezas se detecta presencia minoritarias de hierro y silicio.
20. Los granos equiaxiales de tamaño variado aparecen fuertemente maclados lo cual indicaría una fuerte deformación plástica en frío. Igualmente se observan procesos de recrystalización y crecimiento de grano.
21. Las escorias [118, 119] encontradas en los bronce de La Tejada normalmente están constituidas por sulfuros de cobre y selenio (covellinas y calcosinas) y óxidos de plomo (litargirio PbO).

Pátinas de Corrosión (Materiales Féreos)

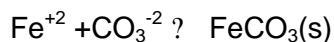
22. Mediante difracción de rayos X de las tierras y las pátinas, se han detectado tanto en las piezas de La Olmeda como de La Tejada, las siguientes fases minerales: cuarzo (SiO₂), calcita (CaCO₃), akagenita (FeOOH), magnetita (Fe₃O₄) y una mezcla de óxidos de hierro compleja que no podemos asociar a goetitas ni lepidocrocitas debido a su naturaleza poco cristalina.
23. De los estudios de caracterización microestructural de estas pátinas se puede concluir [120, 121] que la corrosión de estas piezas ha tenido lugar según el siguiente mecanismo:

La primera etapa del proceso de corrosión es la alteración de la Fe(?) y su transformación en hidróxido ferroso debido a la contribución de dos procesos: a la interacción directa con el agua subterránea y por la corrosión electroquímica del acero. En este último caso, la Fe(?) presenta un comportamiento de disolución anódica, mientras que la cementita se comporta como cátodo. Esta etapa del proceso no produce una capa protectora de acuerdo con la siguiente reacción:

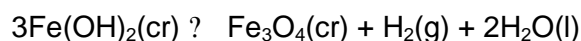


Dado que la cementita no tiene sentido fuera del sistema Fe-C. Una vez que todo el Fe(?) se ha alterado en contacto con la cementita (y debido a la

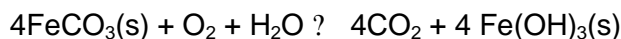
presencia de agua subterránea) esta se convierte en una fase inestable desde el punto de vista termodinámico. El carbonato existente en el agua reacciona con el hierro y produce la formación de siderita, de acuerdo con:



Las condiciones redox del sistema controlaran estas etapas. Por ejemplo, en el caso de que se trate de un medio alcalino la fase secundaria formada actúa como capa protectora del acero. En el caso de que las condiciones sean reductoras, el hierro se puede pasivar mediante la formación de magnetita:



En el caso concreto del yacimiento de la Olmeda se trata de un ambiente oxidante con un agua subterránea alcalina. Estas condiciones favorecen la reacción de la siderita con el oxígeno disuelto en el agua subterránea para formar $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$. La concentración del oxígeno y del carbonato en el agua subterránea serán los parámetros controlantes de estas etapas.



Finalmente el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se transformará en $\text{FeO}(\text{OH})$, que constituye una capa protectora a la degradación de piezas.

Pátinas de Corrosión (Materiales Base Cobre)

24. Mediante difracción de rayos X de las tierras y de las pátinas se han detectado, las siguientes fases minerales: cuarzo (SiO_2) y cuprita (Cu_2O). Del estudio microestructural de estas pátinas se ha detectado una corrosión intergranular del bronce que ha provocado a la aparición de casiterita, oxocloruros de plomo y cobre y la presencia de plata asociadas a covellinas (CuS) y calcosinas (Cu_2S).

- 111.J. M. Gómez de Salazar, A. Soria y J. Quiñones, "Applications of scanning electrón microscopy and microanálisis (SEM_EDX) to the study and characterisation of metallic implements of Roman Age", XII EUREM, Vol. II, Brno, (2000), Ed. Juliana Gemperlová and Ivo Vávra, pp:643-647.
- 112.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La metalurgia de época romana de La Olmeda (Palencia); estudio arqueometalúrgico de una punta de lanza", Primer simposio sobre la minería y la metalurgia antigua en el sudoeste europeo, Cataluña, (Mayo, 2000), Ed: Joan-Ramon González, Joseph M. Mata-Perello.
- 113.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Characterizing ancient iron pieces from La Olmeda", JOM, December, (2000), pp:15-17.
- 114.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Estudio arqueometalúrgico de un hacha de hierro encontrada en la villa de "La Olmeda", Palencia, España.", Revista de Metalurgia,nº 36, (2000).
- 115.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La soldadura por forja como método de unión de metales en la época romana", Soldadura y tecnologías de unión, Año XI, Nº 65, septiembre/octubre, (2000), pp: 42-47.
- 116.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La metalurgia de materiales férreos en la provincia de Palencia durante el periodo romano", IBEROMET IV, Barcelona, (2000), Ed. Jose M^a Guilemany y Francesc Vivas, pp:511-518.
- 117.J. M. Gómez de Salazar, A. Ureña, A. Escalera, S. Rovira y A. Soria, "Estudio de piezas de hierro procedentes de la villa romana de "La Olmeda" (Palencia)", XII Congreso de Conservación y restauración de bienes culturales, Alicante, (1998), Ed. Generalitat Valenciana, pp:259-272.
- 118.J. M. Gómez de Salazar, C. Fernández, A. Soria, M. I. Barrena, "Natural degradation of blinkers dated on the age of the roman empire, from Herrera de Pisuerga, Palencia (Spain)", 15th International corrosion congress, Granada (Spain), (2002), Ed. CENIM, pp:421.
- 119.C. Fernández Ibáñez, J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Estudio de una anteojera equina de época romana procedente de Herrera de Pisuerga (Palencia). Aproximación cultural y tecnológica", Primer simposio sobre la minería y la metalurgia antigua en el sudoeste europeo, Cataluña, (Mayo, 2000), Ed: Joan-Ramon González, Joseph M. Mata-Perello.
- 120.J. M. Gómez de Salazar, A. Soria y J. Quiñones, "Una aportación de los romanos a la evaluación de la seguridad de un repositorio", Estratos, Nº 57, (Otoño 2000), pp:17-20.
- 121.J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Degradación de materiales metálicos de naturaleza férrea. Estudio de objetos de época romana del yacimiento

palentino de La Olmeda”, XIII Congreso de Conservación y restauración de bienes culturales, Lleida, (2000), Ed. Generalitat Catalunya, pp: 199-205.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

1. *"La España antigua. De Altamira a Sagunto"*, A. Blanco-Freijeiro, J. Valiente, Ed. Revista Historia 16 Extra XIII, (1980).
2. *"Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media"*, R. Martín Valls, en J. González, Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp:15 – 53.
3. M. R. Alonso, J. M. Fernández, E. Gómez, L. Ortega, M. A. Rojo, M. De Vargas y L. De Vega, *"Inventario arqueológico de la provincia de Palencia"*, Actas del I Congreso de historia de Palencia, Tomo I, Palencia, (1985), Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, pp: 443- 461.
4. G. Martín Costea y G. Ruiz Zapatero, *"La metalurgia del hierro en el poblado protohistórico de Vallipón (Teruel)"*, Revista de metalurgia, Volumen 10, (1980), pp: 31-40.
5. S. Rovira, P. Gómez y I. Montero, *"Los bronce estañados de la edad del hierro: estudio tecnológico"*, Boletín del museo arqueológico nacional, Tomo XIV, (1996).
6. M. Hernández, S. Rovira, Homenaje a Manuel Fernández Miranda, *"Sobre las periferias del Argar y del Sudeste. Algunas consideraciones sobre la Edad del Bronce en Alicante y Albacete"*. Diputación de Albacete. (1996).
7. *"La "Cultura" del Argar"*, V. Lull, Ed. AKAL, (1983).
8. A. Madroñero de la Cal, *"Metodología para el estudio hidromecánico de un lavadero de Almagre y su relación con la metalurgia y la cerámica de la Edad de Bronce Final"*, Caesaraugusta, Número 65, (1986), pp: 77-110.
9. S. Rovira y P. Gómez, *"The Ria de Huelva Hoard and the late bronze age metalwork: a statistical approach"*, Actes du colloque international "Bronze'96", Tome I, Paris, Ed. Claude Mordant, Michel Pernot et Valentin Rychner, (1998), pp: 81- 89.
10. *"Bronce final en la meseta norte española: El utillaje metálico"*, J. Fernández Manzano, Junta de Castilla y León. Conserjería de educación y cultura, (1986).
11. M. Gil-Mascarell y M. E. Tejado, *"La metalurgia del bronce final- hierro antiguo del yacimiento de la Mola d'Agres (Agres, Alicante)"*, Estudios de Arqueología Ibérica y romana; Homenaje a Enrique Plá Ballester, Número 89, (1992), pp: 39 - 49.
12. *" Los campos de urnas del N.E de la península ibérica. Volumen II"*, G. Ruiz Zapatero, Ed. Colección Tesis doctorales, Núm. 83/85, Departamento de prehistoria. Facultad de geografía e historia, UCM, (1983), pp: 834-949.
13. *"La necrópolis de Los Cogotas. Revisión de los materiales de la necrópolis de la segunda Edad del Hierro en la cuenca del Duero (España)"*, W. S. Kurtz, Volumen I, Ed. BAR international Series 344, (1987).

14. C. Aranegui, *"Iberos"*, Suplemento dominical "La revista del Mundo", Número 119, (1998), pp : 39- 46.
15. *"Ubicación de Pallantia Prerromana"*, L. Castro García, Tomo III, Ed. Historia Antigua, (1973), pp: 417 – 460.
16. A. Martín Costea, A. Madroñero de la Cal y V. López Serrana, *"Arqueometalurgia del poblado celtibérico de "Los Castellares", de Herrera de los Navarros (Zaragoza)"*, Kalathos, nº 11-12, (1991/92), pp: 233- 266.
17. J. M. Soler, *"El poblado ibérico del puntal de Salinas (Alicante)"*, Estudios de Arqueología Ibérica y romana; Homenaje a Enrique Plá Ballester, Número 89, (1992), pp: 51 - 72.
18. *"Hispania romana"*, J. Mangas, Ed. Historia 16 Año V Extra XIV, (1980).
19. *"Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media"*, Montenegro Duque, en J. González, Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp: 54 – 62.
20. C. Fernández Ibáñez, A. Pérez González y Allarregui Gómez, *"Breve avance sobre as últimas investigações levadas a cabo en Pisoraca e no seu campamento lexionario"*, Larouco, Volumen II, (1996), pp: 77-87.
21. *"De Aníbal al emperador Augusto. Hispania durante la República romana"*, J. Mangas, Volumen 3, Ed. Historia 16, (1995).
22. *"Numancia contra Roma"*, C. González, N. Marín, J. M. Roldán, Número 26, Ed. Cuadernos de Historia 16, (1985).
23. P. Palol, *"Palencia al final del mundo antiguo"*, Actas del I Congreso de historia de Palencia, Tomo I, Palencia, (1985), Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, pp: 345-359.
24. *"El esplendor de la España romana. El Alto Imperio en la Península Ibérica"*, C. González, Vol. 4, Ed. Historia 16, (1995).
25. *"Los últimos hispanorromanos. El Bajo Imperio en la Península Ibérica"*, F. Bajo Álvarez, Volumen 5, Ed. Historia 16, (1995).
26. *"Historia de Palencia I. Edades Antigua y Media"*, L. J. Balmaseda, en J. González, Ed. Excma. Diputación Provincial Palencia, (1984), pp: 67 – 118.
27. *"Prehistoric metallurgy. Introducción a la paleometalurgia"*, J-P. Mohen, Ed. Masson, (1920).
28. *"Historia de la técnica"*, R. J. Forbes, Ed. Fondo de cultura económica de México, (1958), pp: 15-135.
29. *"Historia de la tecnología. Desde la antigüedad hasta 1750"*, T. K. Derry and T. I. Williams, Siglo XXI de España editores, (1960). pp: 176- 187.
30. *"Tecnología Mesopotámica y Egipcia"*, R. J. Forbes, Kranzberg Melvin and Pursell Carroll W. Jr. editors, Volumen 1, (1960), pp: 52 -55.

31. G. Martín, "*Materiales romanos de las colecciones del museo de prehistoria de Valencia (Antiguos fondos, I)*", Estudios de Arqueología Ibérica y romana; Homenaje a Enrique Plá Ballester, Número 89, (1992), pp: 411- 437.
32. F. Fernández Gómez, "*El ajuar de la tumba de un lañador romano en el museo arqueológico de Sevilla*", Museum, (Junio, 1982), pp: 71-73.
33. "*La España de los metales: Notas para una historia*", F. A. Calvo, CENIM, Patronato Juan de la Cierva de Investigación científica y técnica. Madrid. (1964)
34. "*Historia de la enseñanza de la minería*", A. Canseco, en *Arqueología e historia de la minería y metalurgia*, Ed. Escuela técnica superior de ingenieros de minas de Madrid, (1996). pp: 11- 25.
35. "*La metalurgia desde su historia*", F. Calvo, Ed. PAS, (1970).
36. "*Notas sobre el desarrollo de la metalurgia*", F. Parrilla, en *Arqueología e historia de la minería y metalurgia*, Ed. Escuela técnica superior de ingenieros de minas de Madrid, (1996). pp: 43-57.
37. "*Iron and Early metallurgy in the mediterranean*", A. M. Snodgrass, en *The coming of the Age of Iron*, T. A. Wertime and J. D. Muhly, New Haven and London Yale University press, (1980), pp: 335- 373.
38. "*La metallurgie du fer*", J-P. Mohen, del libro "*L' Age du fer en Aquitaine*", Capítulo 3:" Contexte métallurgique, description des objets de métal, Mémoires de la société préhistorique française, Tome 14, (1980), pp: 35-48.
39. "*Fabricas hidráulicas españolas*", I. González, Ed. Ministerio de Obras públicas y transportes, Capítulo 3, (1992).
40. "*The first archaeological appearance of iron and the transition to the Iron Age*", J. C. Waldbaum, en *The coming of the Age of Iron*, T. A. Wertime and J. D. Muhly, New Haven and London Yale University press, (1980), pp: 82- 91.
41. "*El acero su elección y selección*", Calvo Rodes, Ed. INTA, (1956), pp: 435-441.
42. M. Mangin y W. Birke, "*Le fer en Bourgogne: Mines, ferriers, fourneaux dans le Morvan septentrional a l'epoque romaine*", Actas del coloquio internacional Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas, Vol. 1, Madrid, (1989), Ed. Ministerio de cultura, pp: 119-135.
43. R. Pleiner, "*Lovosice: A romano-barbarian iron smelting plant in northern Bohemia*", Actas del coloquio internacional Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas, Vol. 1, Madrid, (1989), Ed. Ministerio de cultura, pp:137-140.
44. D. Killick, "*Iron smelting in natural- draft furnaces*", JOM, (April,1991), pp:62 –64.

45. "Furnaces, crucibles and slags", R. F. Tylecote, en *The coming of the Age of Iron*, T. A. Wertheim and J. D. Muhly, New Haven and London Yale University press, (1980), pp: 208- 221.
46. A. Thouvenin, "*Lingots de fer gaulois et techniques de forge*", *Revue Archéologique de l'est et du centre-est*, Tome XXV, Fasc. 3-4, Números 137-138, (1984), pp: 368-372.
47. "*Metallurgy in Archaeology*", R. F. Tylecote, Edward Arnold (publishers) LTD, (1962)
48. "*Metallurgy and the ancient man*", T. S. Wheeler and R. Maddin, en *The coming of the Age of Iron*, T. A. Wertheim and J. D. Muhly, New Haven and London Yale University press, (1980), pp: 112- 125.
49. A. Madroñero de la Cal y M^a N. I. Agreda Suecun, "*Los hierros de la España prerromana*", *Actas del coloquio internacional Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, Vol. 1, Madrid, (1989), Ed. Ministerio de cultura, pp: 109-118.
50. J. Cavalheiro, "*O ferro na antiguidade*", *Arqueología*, Número 19, (1989), pp: 124-132.
51. "*Tratado de Mineralogía*", F. Klockmann y P. Ramdohr, Ed. Gustavo Gili, (1961).
52. "*Metalurgia prehistorica. Introducción a la paleometalurgia*", J. P. Mohen, Ed. Masson, (1992).
53. "*Metalotecnica*", V. Blázquez, P. Cobo, R. Gamboa, J. A. Puebla y A. Varela, Ed. ETSII, (1988).
54. "*Metalografía y tratamiento térmico de los metales*", Y. M. Lajtin, Ed. MIR, (1977).
55. "*Tecnología mecánica y metrotécnica*", M. Arias y J. M. Laceras, Ed. CEDEL, (1965), pp: 197-218.
56. "*Tratamientos térmicos de los aceros*", J. Apraiz, Ed. Patronato de publicaciones de la ETSII, (1961).
57. "*La forja en Palencia*", F. Narganes, Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, (1987).
58. "*The metallography of early ferrous edge tools and edged weapons*", R. F. Tylecote and B. J. Gilmour, Ed. BAR British Series 155, (1986).
59. "*The solid phase welding of metals*", R. F. Tylecote, Ed. Edward Arnold, (1968), pp: 2- 17.
60. "*Tratado de soldadura*", J. F. Lancaster, Ed. Tecnos, (1972).
61. J. Pérez-Juez, "*Villas romanas de la Olmeda y Quintanilla de la Cueva*", *Restauración y rehabilitación*, Nº 44, (Septiembre, 2000), pp: 54 – 61.

62. *"La Villa romana de La Olmeda de Pedrosa de la Vega (Palencia)"*, P. Palol, Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, (1993).
63. *"La Olmeda. Villa Romana"*, Catálogo de visita, Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, (2001).
64. J. M. Blázquez, *"Arte y mitología en los mosaicos palentinos"*, I Congreso de historia de Palencia, Tomo I, Palencia, (1985), Ed. Excma Diputación provincial de Palencia, pp: 361- 379.
65. J. M. Gómez De Salazar, A. Ureña y J. M. Guilemany, *"Estudio metalográfico de unos clavos de la villa romana de La Olmeda (Pedrosa de la Vega, Palencia)"*, X Congreso de conservación y restauración de bienes culturales, Cuenca, (1994), Ed. Andrés Escalera Ureña y M. Carmen Pérez García. pp: 315-325.
66. *"La necrópolis de La Olmeda"*, J. Cortes, Ed. Excma. Diputación provincial de Palencia, (1990).
67. J. Cortés, *"Villas romanas en Palencia"*, Álbum Letras y Artes, Nº 64, (2001), pp: 62 – 70.
68. *"Guía de la villa romana de Quintanilla de la Cueva (Palencia)"*, M. A. García Guinea, Ed. Diputación de Palencia, (1990).
69. M. Del Amo y De la Hera, F. J. Pérez, C. Colín, *"Museo de Palencia"*, Revista de Arqueología, Año XIX, Nº 202, (Febrero, 1998), pp: 54 – 61.
70. M. Jerez, *"Museo arqueológico de Palencia"*, Álbum Letras y Artes, Nº 64, (2001). pp: 71 – 76.
71. *"Corrosión y degradación de materiales"*, E. Otero, Ed. Síntesis, (1997).
72. R. Walker, *"The role of corrosion inhibitors in the conservation of iron"*, National Maritime Museum, Maritime Monographs and reports, Nº 53, (1982), pp:58- 67.
73. *"Corrosion y control de la corrosión"*, H. Uhling, Ed. Urmo, (1963), pp: 92-168.
74. *"Estudio de muestras de hierro encontradas en Celada Marlanges"*, M. A. García Guinea y R. Rincón, Apéndice al libro de M. A. García Guinea y R. Rincón *"El Castro Cántabro de Celada Marlanges (Santander)"*, Ed. Institución cultural de Cantabria, (1970), pp: 37-43.
75. *"Principles and prevention of corrosion"*, A. Jones, Maxwell macmillan international editions, (1992).
76. R. B. Gordon. *"Process deduced from ironmaking wastes and artefacts"*, Journal of archaeological Science, 24, (1997), pp: 9-18.
77. A.V. Ramesh Kumar and R. Balasubramaniam, *"Corrosion product analysis of corrosion resistant ancient indian iron"*, Corrosion Science, Vol. 40, Nº 7, (1998), pp 1169-1178.

78. P. Dillmann, R. Balasubramaniam and G. Beranger, "*Characterization of protective rust on ancient Indian iron using microprobe analyses*", Corrosion Science, Vol. 44, (2002), pp: 2231-2242.
79. V. F. Buchwald and H. Wivel, "*Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects*". Materials characterization, nº 40, (1998), pp: 73-96.
80. H. Maia e Costa, "*Nota sobre as escórias encontradas no Castro de Carvalhelhos*", Trabalhos de antropología e etnografía, Vol. XX, nº 1-2, (1965-66), pp:173-180.
81. A. Madroñero de la Cal, "*Estudio de una estatuilla de Fayalita aparecida en Tricio (Rioja)*", Caesaraugusta, nº 63, (1986), pp:181-203.
82. L. Veleza, P. Castro, G. Hernández – Duque y M. Schorr, "*The corrosion performance of steel and reinforced concrete in a tropical humid climate. A review*", Corrosion Reviews, Vol. 16, nº 3, (1998), pp: 235-284
83. D. J. Sparkes, "*Identifying high temperature oxides on steel*", The welding institute research bulletin, Vol. 28, (Julio, 1987), pp:231-232.
84. B. Knight, "*Why do some iron objects break up in stone?*", National Maritime Museum, Maritime Monographs and reports, Nº 53, (1982), pp:50- 55.
85. S. Turgoose, "*The nature of surviving iron objects*", National Maritime Museum, Maritime Monographs and reports, Nº 53, (1982), pp:1- 7.
86. E. Otero, J.M.Bastidas, W. Lopez and J.L.G. Fierro, "*Characterization of corrosion products on chalcographic cooper plates after 200 years' exposure to indoor atmospheres*", Werkstoffe und korrosion, nº 45, (1994), pp: 387-391.
87. E. Angelini, P. Bianco, E.D. Amicone, L. Vigna, "*Study of corrosion phenomena on ancient egyptian metallic artifacts*", International Coll. Archeomet., Bologna, (1988), pp: 52.
88. I. Constantinides, A. Adriaens, and F. Adams, "*Surface characterization of artificial corrosion layers on cooper alloy reference materials*", Applied Surface Science, nº 189, (2002), pp: 90-101.
89. L. Robbiola, J. M. Blengino and C. Fiaud, "*Morphology and mechanisms of formation of natural patinas on archaeological Cu-Sn alloys*", Corrosion Science, Vol.40, Nº 12, (1998), pp 2083-2111.
90. L. Uran, "*Observations métallographiques sur les épées celtiques en fer*", Aquitania, Supplément, Número 1, (1986), pp: 299 - 308.
91. "*Mapa Geológico de España. E. 1:200.000. 19. León*", Ed. Departamento de publicaciones del instituto geológico y minero de España, (1970).
92. "*Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. 197 (16-10). Carrión de los Condes*", Ed. Servicio de publicaciones ministerio de industria y energía, (1982).

93. "L' Age du fer en Aquitaine", J. P. Mohen, Ed Mémoires de la société préhistorique française, Tome 14, (1980), pp: 35 - 48.
94. W. Mourey, "La conservación des antiquités métalliques. De la fouille au musée", LCRRA, (1987), pp: 307- 308.
95. M. Pascoe, "Organic coatings for iron: A review of methods", National Maritime Museum, Maritime Monographs and reports, Nº 53, (1982), pp:56- 57.
96. N. Hjelm-Hansen, J. Van Lanschot, C. D. Szalkay and S. Turgoose, "Electrochemical assessment and monitoring of stabilisation of heavily corroded archeological iron artefacts", Corrosion Science, Vol. 35, Nº 1-4, (1993), pp: 767- 744.
97. M. Corfield, "Radiography of archaeological ironwork", National Maritime Museum, Maritime Monographs and reports, Nº 53, (1982), pp:8- 14.
98. A. Madroñero de la Cal, "Aplicación de las técnicas arqueometalúrgicas en la identificación e interpretación de los restos de soliferrums", Kalathos, Nº 3 – 4, (1984), pp: 139 - 148.
99. "Metalografía práctica", F. A. Calvo, Ed. Alhambra, (1971).
100. "Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Tomo I", W.D.Callister, Ed. Reverte, (1995).
101. "Binary alloy phase diagrams", T.B. Massalski, Ed. American Society for Metals, (1986).
102. M. Goodway, "High-tin bronze gong making", Journal of Metals, Vol 40, nº 3, (Marzo, 1988), pp:36-37.
103. F. Cisneros, "Fibulas anulares de la Casa del Monte (Valdeganga, Albacete)", Estudios de Arqueología Ibérica y romana; Homenaje a Enrique Plá Ballester, Número 89, (1992), pp: 199 - 214.
104. "Exploración arqueometalúrgica de Huelva", A. Blanco-Frejeiro y B. Rothenberg, Ed. Río Tinto Minera S.A. Labor S.A., (1981), pp: 262-278.
105. "El poblado hallstático de Cortés de Navarra", J. Maluquer, Ed. Gómez. Pamplona, (1958), pp: 133- 137.
106. "Armamento, guerra y sociedad en la necrópolis ibérica de El Cabecico del Tesoro (Murcia, España)", F. Quesada Sanz, Volumen I, BAR International Series 502 (I), (1989), pp: 202-207.
107. A. Madroñero de la Cal, A. Martín Costea, V. López Serrano, F. García Carcedo y M. Arlegui Sanchez, "Estudio arqueometalúrgico de útiles y retos minerometalúrgicos de hierro del yacimiento celtibérico de " Castilmontán" (Somaén, Soria)", Museo de Zaragoza, Boletín 11, (1992), pp: 47 - 88.

108. S. Rovira, S. Consuegra y I. Montero, "*Estudio arqueometalúrgico del tesorillo de Villafafila*", Numantia, (1990), pp:209-216.
109. E. Cortell, J. Juan, E. Llobregat, C. Reig, F. Sala y J. M. Segura, "*La necrópolis ibérica de la serreta: Resumen de la campaña de 1987*", Estudios de Arqueología Ibérica y romana; Homenaje a Enrique Plá Ballester, Número 89, (1992), pp: 83 - 116.
110. G. Nieto y A. Escalera, "*Estudio y tratamiento de una falcata de Almedinilla*", Informes y trabajos, Vol. 10, (1970), pp: 5- 30.
111. S. Rovira y P. Gómez, "*Punzones y varillas metálicas en la Prehistoria reciente española: un estudio tecnológico*", Espacio, tiempo y forma, Serie I/7, (1994).
112. "*A chave romana da cidade de Ourense*", C. Fernández Ibáñez, Ed. Excmo. Concello de Ourense, (1994).
113. J. M. Gómez de Salazar, A. Soria y J. Quiñones, "Applications of scanning electron microscopy and microanalysis (SEM_EDX) to the study and characterisation of metallic implements of Roman Age", XII EUREM, Vol. II, Brno, (2000), Ed. Juliana Gemperlová and Ivo Vávra, pp:643-647.
114. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La metalurgia de época romana de La Olmeda (Palencia); estudio arqueometalúrgico de una punta de lanza", Primer simposio sobre la minería y la metalurgia antigua en el sudoeste europeo, Cataluña, (Mayo, 2000), Ed: Joan-Ramon González, Joseph M. Mata-Perello.
115. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Characterizing ancient iron pieces from La Olmeda", JOM, December, (2000), pp:15-17.
116. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Estudio arqueometalúrgico de un hacha de hierro encontrada en la villa de "La Olmeda", Palencia, España.", Revista de Metalurgia, nº 36, (2000).
117. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La soldadura por forja como método de unión de metales en la época romana", Soldadura y tecnologías de unión, Año XI, Nº 65, septiembre/octubre, (2000), pp: 42-47.
118. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "La metalurgia de materiales férreos en la provincia de Palencia durante el periodo romano", IBEROMET IV, Barcelona, (2000), Ed. Jose M^a Guilemany y Francesc Vivas, pp:511-518.
119. J. M. Gómez de Salazar, A. Ureña, A. Escalera, S. Rovira y A. Soria, "Estudio de piezas de hierro procedentes de la villa romana de "La Olmeda" (Palencia)", XII Congreso de Conservación y restauración de bienes culturales, Alicante, (1998), Ed. Generalitat Valenciana, pp:259-272.
120. J. M. Gómez de Salazar, C. Fernández, A. Soria, M. I. Barrena, "Natural degradation of blinkers dated on the age of the roman empire, from Herrera de

- Pisuerga, Palencia (Spain)", 15th International corrosion congress, Granada (Spain), (2002), Ed. CENIM, pp:421.
121. C. Fernández Ibáñez, J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Estudio de una anteojera equina de época romana procedente de Herrera de Pisuerga (Palencia). Aproximación cultural y tecnológica", Primer simposio sobre la minería y la metalurgia antigua en el sudoeste europeo, Cataluña, (Mayo, 2000), Ed: Joan-Ramon González, Joseph M. Mata-Perello.
122. J. M. Gómez de Salazar, A. Soria y J. Quiñones, "Una aportación de los romanos a la evaluación de la seguridad de un repositorio", Estratos, Nº 57, (Otoño 2000), pp:17-20.
123. J. M. Gómez de Salazar y A. Soria, "Degradación de materiales metálicos de naturaleza férrea. Estudio de objetos de época romana del yacimiento palentino de La Olmeda", XIII Congreso de Conservación y restauración de bienes culturales, Lleida, (2000), Ed. Generalitat Catalunya, pp: 199-205.